



Introdução à física mecânica

Prof. Bruno Suarez Pompeo

Descrição

Você vai entender cinemática, dinâmica e os tipos de movimento, as três Leis de Newton e os conceitos de energia e trabalho.

Propósito

Ao compreender os conceitos de mecânica, como os tipos de movimento existentes, as leis que os regem e as formas de energia, você adquire conhecimentos essenciais para explicar e prever o comportamento dos objetos no universo, sendo fundamental para a inovação tecnológica e a resolução de problemas práticos em diversas áreas da ciência e engenharia.

Preparação

Antes de iniciar o conteúdo, tenha em mãos papel, caneta e uma calculadora científica, ou use a calculadora de seu smartphone/computador.

Objetivos

Módulo 1

Conceitos básicos de cinemática

Distinguir os conceitos básicos de cinemática.

Módulo 2

Tipos de movimentos

Reconhecer os tipos de movimentos.

Módulo 3

As três leis de Newton

Identificar as três leis de Newton.

Módulo 4

Energia e trabalho

Aplicar os conceitos de energia e trabalho, bem como os tipos de energia e sua conservação.



Introdução

No início do século XX, Albert Einstein, Max Planck, Werner Heisenberg, Erwin Schroedinger, entre outros cientistas, evidenciaram a falha da mecânica clássica (newtoniana) no mundo subatômico.

No entanto, nas aplicações cotidianas, em movimentos próximos da velocidade da luz e em sistemas com corpos de grandes massas, como astros e planetas, os erros existentes nela são considerados tão pequenos que as soluções encontradas são muito próximas dos valores exatos. Dessa forma, seu estudo continua sendo de grande valia para o entendimento de sistemas utilizados no dia a dia.

Material para download

Clique no botão abaixo para fazer o download do conteúdo completo em formato PDF.

[Download material](#)



1 - Conceitos básicos de cinemática

Ao final deste módulo, você será capaz de distinguir os conceitos básicos de cinemática.

Conhecendo a cinemática

Termos utilizados

Cinemática é o ramo da física mecânica que estuda os movimentos dos corpos sem se preocupar como eles foram gerados nem como são modificados.

Para entender bem esse tópico, devemos nos familiarizar com alguns termos que serão amplamente utilizados aqui:

- Referencial
- Repouso e movimento
- Trajetória
- Espaço ou posição
- Deslocamento

- Distância percorrida
- Tempo
- Velocidade
- Aceleração

Apesar de serem muitos, você notará que todos os termos são simples e que, mesmo que não perceba, já os conhece, pois eles estão presentes no dia a dia, como você verá ao longo deste estudo.

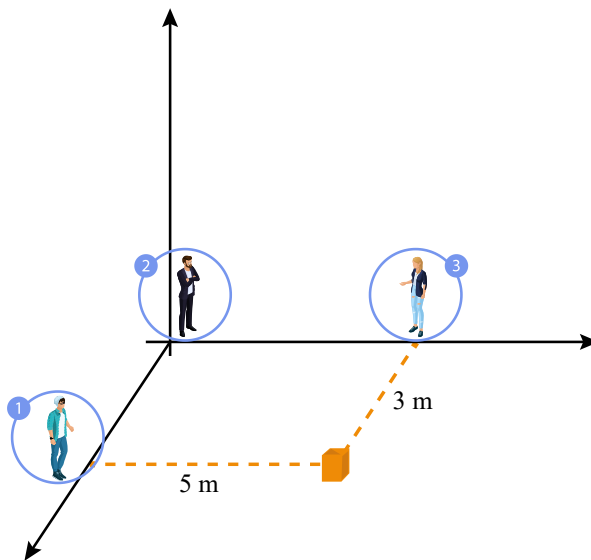
Referencial

Antes de conhecermos o conceito de referencial, repare na sequência 3 cenas de uma mesma imagem, em que temos uma caixa dentro de um quarto. Você sabe dizer qual é a posição da caixa? Interaja com cada um dos observadores na imagem para saber!



Toque nos destaques enumerados.





Posição relativa dos observadores em relação à caixa.

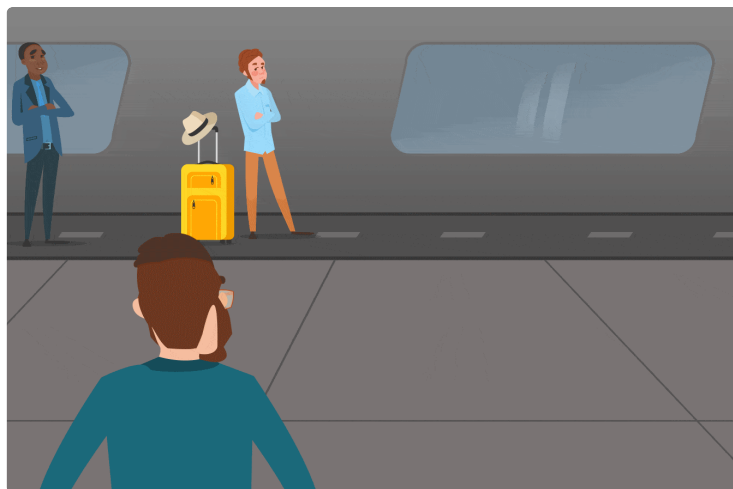
Depois de analisarmos como cada observador vê a caixa, percebemos que cada um terá uma resposta diferente, dependendo do seu ponto de vista.

Atenção!

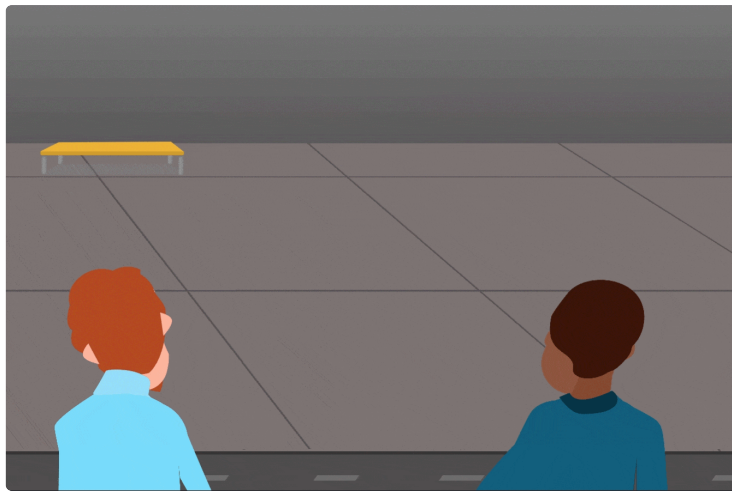
Não existe um referencial absoluto, no qual todos os movimentos estão associados; por isso, há a necessidade de definir um corpo ou ponto para fixar seu sistema de referência.

O referencial também é necessário para definir algo em movimento.

Em aeroportos, as esteiras rolantes facilitam a nossa caminhada até o embarque. Imagine uma situação com três pessoas: duas na esteira (sem caminhar) e uma fora dela (também sem caminhar).



Visão do observador no corredor.



Visão do observador na esteira.

Após analisar as animações, que tal um pequeno teste? Vamos lá!

Quem está se movendo?



Toque em um dos botões para responder.

As duas pessoas na esteira

A pessoa fora da esteira

É importante saber que os exemplos anteriores possuem referências explícitas que servem de parâmetro para o observador. Quando nada é dito em relação a tais parâmetros, utilizamos a [superfície terrestre](#) como referencial!

Você certamente aprendeu que a Terra está em movimento contínuo, tanto de rotação quanto de translação. Sendo assim, se o Matt Damon no filme *Perdido em Marte* pudesse nos observar, ele nos veria em movimento; em contrapartida, nós também o veríamos em movimento.

Superfície terrestre

Todos nós estamos na superfície terrestre (ou bem próximo dela, se não estivermos no nível do mar, como em cima de uma montanha ou prédio).

Repouso X Movimento

Antes de mais nada, vamos compreender a diferença entre um corpo em repouso e outro em movimento. Confira!



Repouso

Quando não há diferença de posição entre ele e outro corpo escolhido no decorrer do tempo.



Movimento

Quando sua posição, em relação a outro corpo, varia com o tempo.

Retomando o caso das pessoas na esteira, quem está em repouso e quem está em movimento?

Para responder a essa pergunta, primeiramente, é preciso definir **em relação a quem** estamos medindo o movimento. As duas pessoas na esteira estão em repouso em relação à própria esteira. Já a que está em pé fora da esteira está em movimento em relação às outras duas pessoas. Agora, vamos pensar tendo um vagão de metrô como exemplo.



Pessoas dentro de vagão do metrô.

Imagine você em pé dentro de um vagão do metrô, fazendo o possível para se segurar no ferro. Ao se aproximar de uma estação, você observa uma pessoa caminhando e já começa a ver as pessoas esperando a parada do trem na plataforma. Como é visto o movimento da pessoa dentro do vagão por você? E pelas pessoas do lado de fora? Como você vê o movimento do ferro, em repouso ou se movendo? As pessoas do lado de fora o veem em movimento ou em repouso?

Os conceitos de repouso e movimento são relativos: dependem do referencial escolhido.



Trajetória

É o caminho percorrido pelo ponto material no decorrer do tempo. Ela pode ser retilínea ou curvilínea, dependendo do referencial considerado. Confira os exemplos a seguir!

Perspectiva do homem.



Perspectiva do interior do avião.

Antes de prosseguir, devemos compreender que a trajetória também é um **conceito relativo**.

Voltando ao caso do metrô: se você deixa seu celular cair, a trajetória dele vista por você será diferente da vista por alguém em pé na plataforma. As trajetórias seriam mais ou menos da forma apresentada nas animações a seguir.



Celular caindo no chão a partir da perspectiva da pessoa que está com o celular dentro do vagão.



Celular caindo no chão a partir da perspectiva da pessoa que está na plataforma, fora do vagão.



Espaço ou posição (S)

O espaço é a grandeza que define as posições (ou marcos) de um corpo em determinada trajetória. Para definir a posição, inicialmente, é necessário um **marco zero**, ou seja, um ponto de partida. Além disso, é importante que seja definido um sentido positivo e outro negativo, confira a imagem e entenda!



Reta numérica com marco zero.

Um exemplo de posição é a [BR-101](#), que se estende por 4.765 quilômetros, ligando o Rio Grande do Norte (RN) ao Rio Grande do Sul (RS). Qual o marco zero desse trajeto? Se for no RN, a posição 4.765 será no RS, vice-versa. E se estivermos no Rio de Janeiro? Indo para o RN, haverá aumento ou diminuição no valor da posição? Tudo depende do sentido que você define como positivo ou negativo.

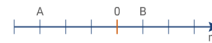
As retas a seguir indicam posições a partir de determinado marco zero e da escolha do sentido positivo do eixo (considerando cada marco igual a 1 m), compare ambas!



Reta I

$$S_A = 1m$$

$$S_B = 5m$$



Reta II

$$S_A = -3m$$

$$S_B = -1m$$

×

E se a seta estivesse virada para esquerda, quais seriam os valores de SA e SB? Veja e compare!

Valores na reta I

Valores na reta II

$$S_A = -1m \text{ e } S_B = -5m$$

×

$$S_A = 3m \text{ e } S_B = -1m$$

Deslocamento (ΔS) X Distância percorrida

Deslocamento de um móvel pode ser definido como o vetor que liga o ponto inicial ao final da trajetória. É a diferença entre estes vetores: posição **final** e posição **inicial**. Observe a fórmula para o deslocamento!

$$\Delta \vec{S} = \vec{S} - \vec{S}_0$$

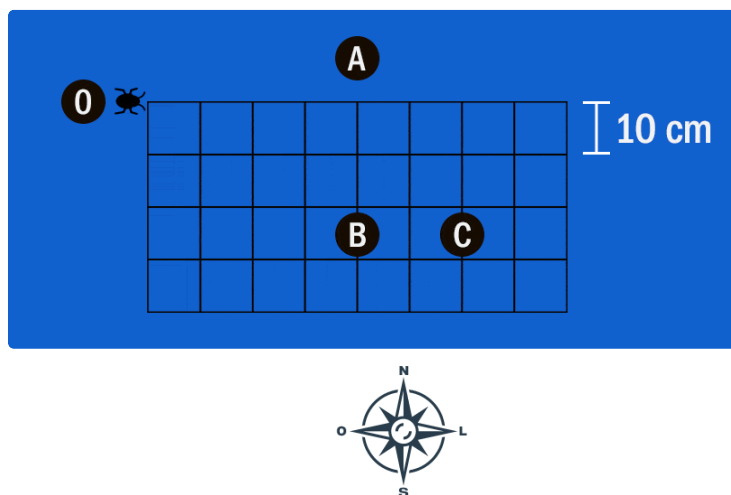
Nas retas vistas anteriormente, você consegue fornecer o deslocamento entre A e B? Note que em:

$$\Delta \vec{S}_{BA} = \vec{S}_B - \vec{S}_A = 5 - 1 \therefore \Delta \vec{S}_{BA} = 4m$$

$$\Delta \vec{S}_{BA} = \vec{S}_B - \vec{S}_A = 1 - (-3) \therefore \Delta \vec{S}_{BA} = 4m$$

Agora, vamos considerar que os pontos não estão na mesma reta, isso torna-se um problema? A resposta é **não**. O deslocamento, assim como a posição, é uma **grandeza vetorial**, ou seja, basta indicar a direção.

Um inseto caminha do ponto 0 ao A; depois, ao B; e, por fim, ao ponto C.
Confira esse exemplo na próxima animação!



Inseto fazendo percurso do ponto zero ao ponto C passando por A e B.

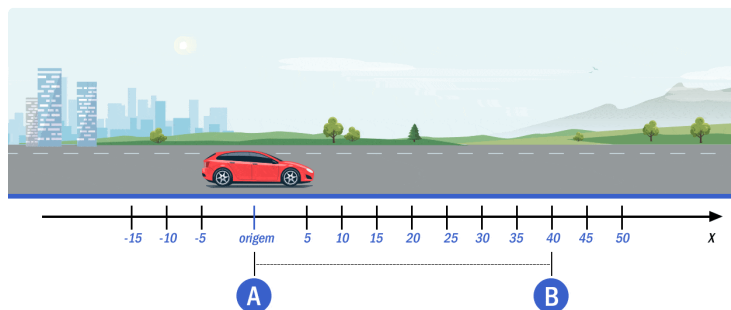
Vejamos qual foi o deslocamento total desse inseto!

$$\begin{aligned}\Delta \vec{S}_{B0} &= \vec{S}_B - \vec{S}_0 \\ \Delta \vec{S}_{B0} &= (40cm \text{ para Leste}, 20cm \text{ para Sul}) - (0, 0) \\ \Delta \vec{S}_{B0} &= (40cm \text{ para Leste}, 20cm \text{ para Sul})\end{aligned}$$

E se, após chegar em C, o inseto volta para B, qual terá sido seu deslocamento total?

$$\begin{aligned}\Delta \vec{S}_{B0} &= \vec{S}_B - \vec{S}_0 \\ \Delta \vec{S}_{B0} &= (40cm \text{ para Leste}, 20cm \text{ para Sul}) - (0, 0) \\ \Delta \vec{S}_{B0} &= (40cm \text{ para Leste}, 20cm \text{ para Sul})\end{aligned}$$

Agora, imagine que um móvel, como um carro, parte do ponto A, vai até o B e retorna para o A.



Trajetória de um automóvel indo do ponto A até o B e retornando.

Vamos pensar sobre isso!



Qual é o deslocamento total do automóvel no exemplo apresentado?

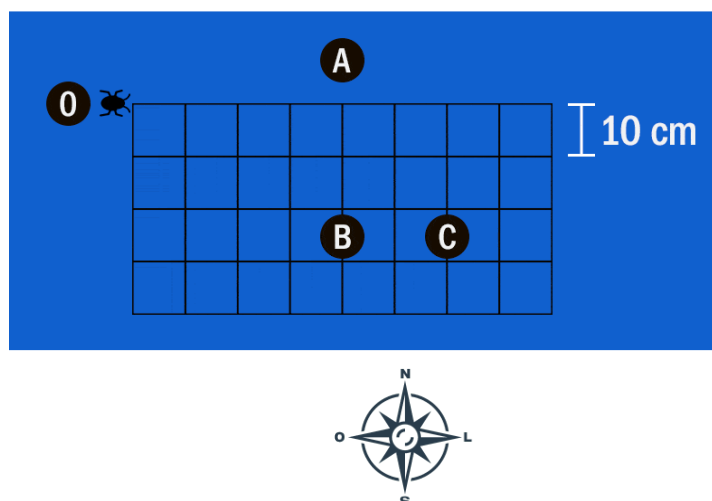
Resposta

Seu deslocamento total é igual a **zero**, já que os pontos final e inicial são os mesmos. Como o deslocamento é definido pela diferença entre a posição final e a inicial, isso não fornece, em alguns casos, o quanto foi percorrido pelo móvel. Essa grandeza é chamada de **distância percorrida** ou **espaço percorrido**.

Distância percorrida é definida como a soma das distâncias efetivamente percorridas por um móvel, ou seja, é a soma dos módulos dos deslocamentos contidos em um deslocamento total. Dessa forma, diferentemente de posição e deslocamento, a distância percorrida será sempre uma grandeza escalar positiva.

Voltemos ao [caso do inseto](#) para entender melhor. Ao **retornar** ao **ponto B**, qual foi a distância percorrida por ele em todo o trajeto?

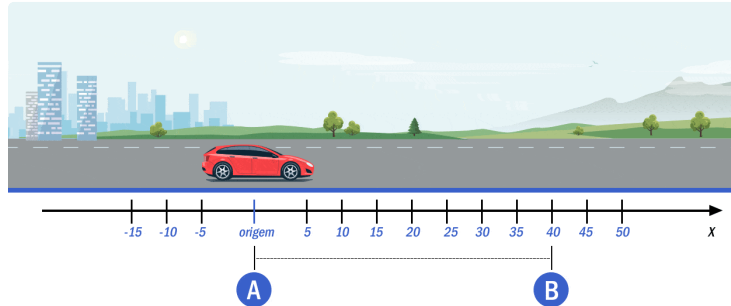
Caso do inseto



Inseto fazendo percurso do ponto zero ao ponto C passando por A e B.

$$\begin{aligned}d &= |\Delta S_{A0}| + |\Delta S_{AB}| + |\Delta S_{BC}| + |\Delta S_{CB}| \\d &= 40cm + 20cm + 20cm + 20cm \\d &= 100cm\end{aligned}$$

Agora, relembre o exemplo do automóvel!



Trajetória de um automóvel indo do ponto A até o B e retornando.

Qual a distância percorrida por um carro que parte de um ponto A, vai até um ponto B e retorna para o ponto A? Simples! A distância percorrida obviamente não será zero, mas, sim, duas vezes o módulo do deslocamento de A para B.



Tempo (T)

Neste conteúdo, admitiremos que o tempo é absoluto, ou seja, é o mesmo independentemente do referencial.

Definir o que é tempo é uma tarefa bem difícil. Desde a época da Grécia Antiga, filósofos, pensadores e cientistas tentam defini-lo. No entanto, o mais importante aqui é saber medir intervalos de tempo e definir instante de tempo. Para isso, precisamos definir algum evento que nos dê um intervalo de tempo padrão e contínuo. Você teria alguma ideia do que poderia ser usado?



Instante de tempo

É definido como o momento em que ocorre um evento. Quando dizemos “momento”, estamos contando uma quantidade de tempo a partir de um instante inicial ($t = 0s$) já determinado. Por exemplo, a que horas você começou a estudar este conteúdo? Esse será seu tempo inicial. Agora, o instante de tempo é definido pela quantidade de minutos e segundos que se passaram desde que você começou seu estudo.

Velocidade

Antes de prosseguir com os estudos sobre velocidade, vamos abrir um parêntese para um fato interessante.

Curiosidade

Galileo Galilei (1564-1642) foi o primeiro a medir velocidades considerando as distâncias percorridas por determinado tempo. Uma das formas possíveis de medir o tempo naquela época era por meio da medição da própria pulsação arterial.

Normalmente, a velocidade é um conceito compreendido por todos. No entanto, você sabe defini-la?

Podemos dizer que ela é uma grandeza física vetorial que relaciona a variação de posição (deslocamento) com a temporal, revelando o quanto ela ocorre dado um intervalo de tempo. A velocidade é dada pela **razão** entre a variação de posição e a quantidade de tempo para que essa variação tenha ocorrido.

$$\vec{V} = \frac{\Delta \vec{S}}{\Delta t}$$

A seguir, entenderemos os dois tipos principais de definição de velocidade. Vamos lá!

Velocidade média (VM) X Velocidade instantânea (Vi)

Ao viajar de carro, seja na posição de motorista ou na posição de passageiro, provavelmente você já reparou no velocímetro e sabe que, se olhar de tempos em tempos, verá uma marcação de velocidade nele.

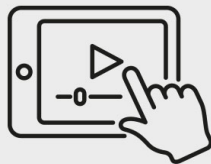
Essa velocidade indicada é chamada de **velocidade instantânea**, ou seja, naquele instante, a velocidade é dada por aquele valor.



Velocidade instantânea no uso de carros e motos

Confira neste vídeo o conceito de velocidade instantânea no uso de carros e motos, com o exemplo prático do velocímetro de uma motocicleta.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Podemos, então, utilizar a equação de velocidade e fazer o Δt ser tão pequeno quanto quisermos, até chegar em um instante. Assim, o $\Delta \vec{S}$ também será muito pequeno.

Quando essas diferenças se tornam muito pequenas, a ponto de serem infinitesimais, mudamos a letra Δ por d ; logo, a velocidade instantânea pode ser dada pela seguinte fórmula:

$$\vec{V}_i = \frac{d\vec{S}}{dt}$$

Continuemos na mesma viagem de carro. Se ela for relativamente longa, há a necessidade de parar para abastecer ou ir ao banheiro, diminuir a velocidade para atender ao limite da via, acelerar para ultrapassar outro veículo etc. Todos esses eventos fazem com que a velocidade mostrada no velocímetro varie, ora para mais, ora para menos. Ou seja, a velocidade instantânea do carro está variando.

No entanto, há outra forma de calculá-la que é bem interessante. Às vezes, não estamos interessados em saber a velocidade que o carro tem em cada instante, mas, sim, qual foi a velocidade média registrada durante a viagem. Ou seja, qual a razão do deslocamento total pelo tempo total de viagem. A essa velocidade, chamamos de **velocidade média**. Portanto, podemos definir velocidade média como a razão entre o deslocamento desenvolvido por intervalo de tempo.

$$\vec{V}_m = \frac{\Delta \vec{S}}{\Delta t} = \frac{\vec{S} - \vec{S}_0}{\Delta t}$$

Aceleração $\vec{a}$

Da mesma forma que velocidade é a grandeza que indica a **variação de posição** em determinado intervalo de tempo, a aceleração é a grandeza que relaciona a **variação de velocidade** em determinado intervalo de tempo.

Assim, aceleração é dada por:

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t}$$

Quando falamos "pise no acelerador", estamos dizendo "aumente a velocidade". Quando dizemos "pise no freio", queremos dizer "diminua a velocidade". No primeiro caso, a variação de velocidade (ΔV) é positiva (velocidade final maior que a inicial); consequentemente, a aceleração é positiva. Já no segundo caso, a variação de velocidade (ΔV) é negativa (velocidade final menor que a inicial); logo, a aceleração é negativa.

Análise gráfica

Velocidade X Tempo e Aceleração X Tempo

Vimos que a velocidade está associada às variações de posição e de tempo. Já a aceleração, que também se associa à variação de tempo, está atrelada a de velocidade.

Uma maneira simples e mais visual de analisar essas relações é por meio de gráficos. Os gráficos Velocidade X Tempo e Aceleração X Tempo possuem características bem interessantes.

Vejamos o gráfico $V \times t$ a seguir.

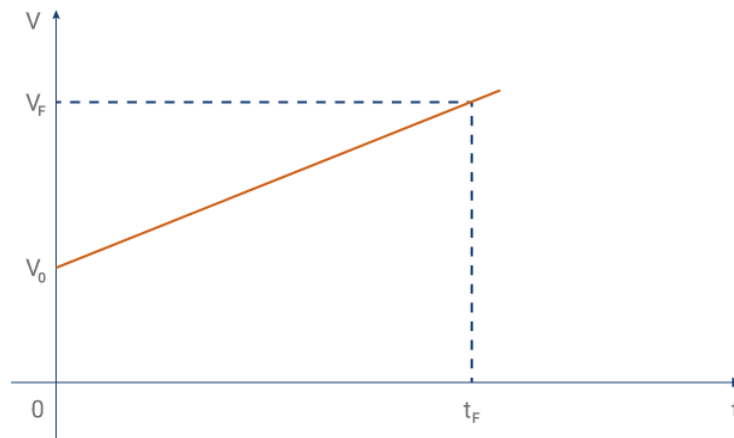
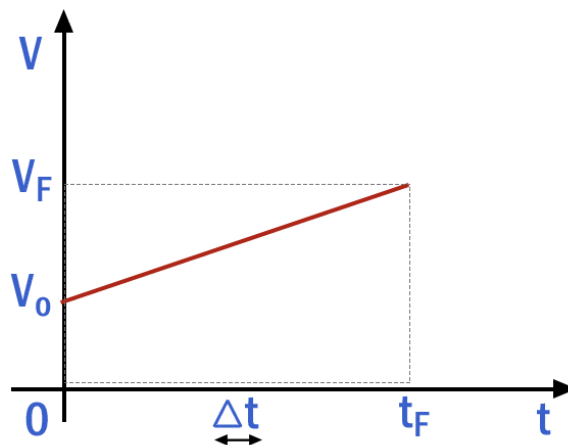


Gráfico: $V \times t$.

Note que a velocidade está aumentando desde um valor V_0 até um valor V_F em um intervalo de tempo igual a t_F .

Em um retângulo de largura muito pequena Δt e altura do eixo t até a reta vermelha, você consegue, em qualquer ponto (ao qual chamaremos de ponto P), observar que a área dele seria dada por $V_P \Delta t$?

E isso é igual a que grandeza? Deslocamento - ΔS_P . Confira a seguir o gráfico animado que demonstra a evolução do deslocamento ao decorrer do tempo.



Animação do gráfico $V \times t$

Chegamos, assim, a uma conclusão muito importante.

Em um gráfico $V \times t$, a área entre a curva e o eixo t fornece o deslocamento total do corpo nesse intervalo de tempo.

Se o gráfico, em vez de indicar velocidade por tempo, indicasse aceleração por tempo, que grandeza a área entre a curva e o eixo t nos forneceria? Da mesma forma, o resultado obtido nos daria a variação de velocidade.

Atenção!

Analise cuidadosamente o significado dos eixos sempre que interpretar um gráfico. A área sob a curva em um gráfico Velocidade X Tempo indica o deslocamento, que pode ser positivo ou negativo. Já a área sob a curva em um gráfico Aceleração X Tempo indica a variação da velocidade (positiva ou negativa). Por outro lado, em um gráfico Posição X Tempo, a área sob a curva, a princípio, não fornece uma informação útil.

Agora, observe um cenário para reforçar sua compreensão sobre o estudo até aqui.

Situação-problema

Suponha que, durante uma viagem de final de semana para Cabo Frio, você, saindo do Rio de Janeiro, anotou as seguintes velocidades indicadas no velocímetro durante instantes de tempo aleatórios, medidos a partir do momento de saída:

- $t = 20 \text{ min} - v = 40 \text{ km/h}$
- $t = 35 \text{ min} - v = 60 \text{ km/h}$
- $t = 45 \text{ min} - v = 80 \text{ km/h}$
- $t = 1 \text{ h } 20 \text{ min} - v = 10 \text{ km/h}$
- $t = 1 \text{ h } 40 \text{ min} - v = 100 \text{ km/h}$
- $t = 2 \text{ h} - v = 100 \text{ km/h}$
- $t = 2 \text{ h } 20 \text{ min} - v = 60 \text{ km/h}$

Agora, com base nessas informações, vamos pensar!



Você consegue inferir qual a velocidade do carro no instante $t = 1 \text{ h } 50 \text{ min}$?

Resposta

Não, porque todas as velocidades informadas são instantâneas e, como o nome diz, são as velocidades naquele instante. Consequentemente, como em $t = 1$ h 50 min não foi visto o velocímetro, não é possível saber qual a velocidade instantânea nesse instante.

Pequenos vídeos, grandes explicações!

Espaço e posição

Você sabe diferenciar espaço de posição? Prepare-se para descobrir!

Distância percorrida e deslocamento

Você sabe diferenciar distância percorrida de deslocamento? Prepare-se para descobrir!

Vamos praticar o que aprendemos até aqui!

Falta pouco para atingir seus objetivos.

Vamos praticar alguns conceitos?

Questão 1

Em uma viagem de avião, um passageiro observa em sua poltrona a comissária caminhando em direção a ele trazendo salgadinhos e bebidas incluídos no serviço de bordo. Analisando essa situação e sabendo que o passageiro viaja com sua esposa ao seu lado, pode-se afirmar, com base nos conceitos de cinemática, que

- A O passageiro e sua esposa encontram-se em repouso em relação à aeromoça.
- B O passageiro, sua esposa e a aeromoça encontram-se em movimento de igual velocidade (velocidade do avião) em relação a um observador sentado em sua varanda na superfície terrestre.
- C Para o passageiro, tanto ele quanto sua esposa estão em repouso, enquanto a aeromoça está em movimento.
- D Para um observador sentado em sua varanda na superfície terrestre, o passageiro e a esposa estão em repouso e a aeromoça está em movimento.

E A esposa e o passageiro estão em movimento um em relação ao outro.

Parabéns! A alternativa C está correta.

(A) Incorreta. Em relação à aeromoça, o passageiro e a esposa estão em movimento, pois estão se aproximando dela.

(B) Incorreta. Para um observador na superfície terrestre, o passageiro e a esposa, como estão em repouso em relação ao avião, encontram-se em movimento com a velocidade igual a do avião. No entanto, a aeromoça está em movimento em relação ao avião. Logo, sua velocidade para um observador fora do avião é diferente da velocidade do avião.

(C) Correta. Como a esposa não tem movimento em relação ao passageiro, essa encontra-se em repouso no referencial passageiro. Já a aeromoça, encontra-se em movimento.

(D) Incorreta. Para o observador na superfície terrestre, o passageiro e a esposa estão em movimento com velocidade igual a do avião.

(E) Incorreta. Independentemente de estar dormindo ou não, a aeromoça encontra-se em movimento em relação ao referencial esposa.

Questão 2

Suponha que, durante uma viagem de final de semana para Cabo Frio, você, saindo do Rio de Janeiro, anotou as seguintes velocidades indicadas no velocímetro durante instantes de tempo aleatórios, medidos a partir do momento de saída:

$t = 20\text{min} - v = 40\text{km/h}$

$t = 35\text{min} - v = 60\text{km/h}$

$t = 45\text{min} - v = 80\text{ km/h}$

$t = 1\text{h}20 - v = 10\text{km/h}$

$t = 1\text{h}40 - v = 100\text{km/h}$

$t = 2\text{h} - v = 100\text{km/h}$

$t = 2\text{h}20 - v = 60\text{km/h}$

Você consegue inferir qual a velocidade do carro no instante $t = 1\text{h}50$?

Digite sua resposta aqui

Chave de resposta ▾

Não, porque todas as velocidades informadas são instantâneas e, como o nome diz, são as velocidades naquele instante. Consequentemente, como em $t = 1\text{h}50$ não foi visto o velocímetro, não é possível saber qual a velocidade instantânea nesse instante.

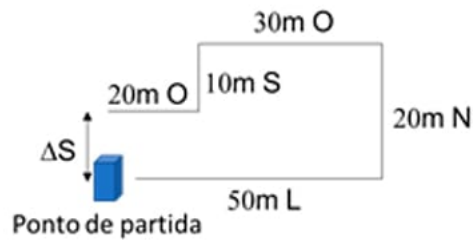
Questão 3

Um escoteiro, participando de uma competição de progressão, saiu do ponto de partida e seguiu 50 metros à Leste. Em seguida, ele seguiu 20 metros ao Norte e mais 30 metros à Oeste. Por fim, seguiu mais 10 metros para o Sul e 20 metros à Oeste, encontrando, assim, o objeto esperado. O deslocamento do escoteiro, desde o ponto de partida até o ponto de sua meta, e a distância total percorrida pelo escoteiro são, respectivamente:

- A 10 metros ao Norte; 10 metros.
- B 10 metros ao Norte; 130 metros.
- C 130 metros ao Norte; 130 metros.
- D 130 metros ao Norte; 10 metros.
- E 0 metros ; 130 metros.

Parabéns! A alternativa B está correta.

A trajetória do escoteiro é dada por:



O deslocamento é dado pela diferença entre a posição final e a posição inicial. Assim, $\Delta S = 10mN$

Para calcular a distância percorrida, basta somar os deslocamentos:

$$d = 50m + 20m + 30m + 10m + 20m = 130m$$

Questão 4

Um carro precisa realizar uma viagem cuja distância total é 120km. Sabe-se que, na primeira metade do trajeto a velocidade média do carro foi de 100 km/h. Na segunda metade do trajeto, a velocidade média do carro foi de 20m/s. Qual foi o tempo gasto na viagem?

- A 7h20
- B 4h30
- C 2h15
- D 1h42
- E 1h26

Parabéns! A alternativa E está correta.

Como o trajeto total é dividido em dois trajetos de igual tamanho e a distância total é de 120 km, temos que o tempo gasto em cada trajeto é dado por:

TRAJETO 1:

$$\Delta S_1 = 60km \Rightarrow V_{m1} = \frac{\Delta S_1}{t_1} \rightarrow 100km/h = \frac{60km}{t_1} \therefore t_1 = 0,6h =$$



TRAJETO 2:

Note que a velocidade se encontra em m/s. Dessa forma, é preciso passar para km/h, já que o deslocamento está em km. Assim:

$$V_{m2} = 20m/s \times 3,6 = 72km/h$$

$$V_{m2} = 20m/s \times 3,6 = 72km/h$$

$$\Delta S_2 = 60km \Rightarrow V_{m2} = \frac{\Delta S_1}{t_1} \rightarrow 72km/h = \frac{60km}{t_2} \therefore t_2 = \frac{5}{6}h = 5$$



Logo, o tempo total é dado por:

$$t = t_1 + t_2 = \text{ou } 1h \text{ e } 26 \text{ min}$$

Questão 5

Em uma corrida de 100 metros, o atleta vencedor, partindo do repouso, conseguiu manter uma aceleração constante igual a $3,0m/s^2$ durante os primeiros 4,0 segundos de prova, atingindo uma velocidade que se manteve a mesma até alcançar a linha de chegada. Sabendo que, nos primeiros 4,0 segundos, o atleta percorreu 24% do percurso, o tempo necessário para completar a prova foi de:

- A 9,45s
- B 10,0s
- C 10,33s
- D 10,75s
- E 11,20s

Parabéns! A alternativa C está correta.

Primeiramente vamos calcular a velocidade “de cruzeiro” do atleta:

$$a = \frac{\Delta V}{\Delta t} \rightarrow 3 = \frac{V-0}{4} \therefore V = 12m/s$$

Como é dito que durante os 4,0 primeiros segundos o atleta percorreu 24% do percurso, ou seja, 24 metros, ele precisou percorrer 76 metros com velocidade constante de 12 m/s. Assim, a

velocidade média nesse trajeto é igual a 12 m/s e o tempo gasto é de:

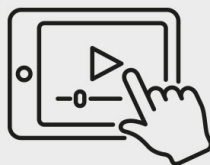
$$v_m = \frac{\Delta S}{\Delta t} \rightarrow 12 = \frac{76}{\Delta t} \therefore \Delta t = 6,333s$$

E o tempo total de prova:

$$t_{\text{total}} = 4 + 6,333 \therefore t_{\text{total}} = 10,33s$$

Veja a resolução do professor.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.

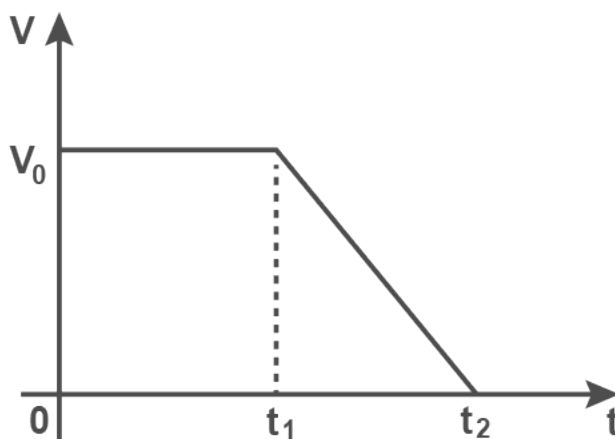


Questão 6

(AFA) Um bloco se movimenta retilineamente, do ponto A até o ponto C, conforme figura abaixo.



Sua velocidade V em função do tempo t , ao longo da trajetória, é descrita pelo diagrama $v \times t$ mostrado a seguir.



Considerando que o bloco passa pelos pontos A e B nos instantes 0 e t_1 , respectivamente, e para no ponto C no instante t_2 , a razão entre as distâncias percorridas pelo bloco nos trechos BC e AB, vale:

A $\frac{t_2 + t_1}{t_1}$

B $\frac{(t_2+t_1)^2}{t_2^2}$

C $\frac{t_2-t_1}{2 \cdot t_1}$

D $\frac{t_2+t_1}{2 \cdot t_2}$

E $\frac{(t_2+t_1)^3}{t_2^2}$

Parabéns! A alternativa C está correta.

Como vimos, a área sob a curva nos fornece o deslocamento.

Dessa forma: Entre os pontos A e B: Área do retângulo.

$$\Delta S_{AB} = v_0 t_1$$

Entre os pontos B e C: Área do triângulo

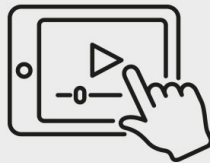
$$\Delta S_{BC} = \frac{v_0(t_2-t_1)}{2}$$

Assim:

$$\frac{\Delta S_{BC}}{\Delta S_{AB}} = \frac{\frac{v_0(t_2-t_1)}{2}}{v_0 t_1} \therefore \frac{\Delta S_{BC}}{\Delta S_{AB}} = \frac{t_2-t_1}{2t_1}$$

Veja a resolução do professor.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.





2 - Tipos de movimentos

Ao final deste módulo, você será capaz de reconhecer os tipos de movimentos.

Movimentos retilíneos

Movimento retilíneo uniforme (MRU)

Os movimentos simples são chamados de movimentos retilíneos, que podem ser acelerados ou não.



Quando temos um movimento retilíneo não acelerado, você consegue dizer de que forma esse movimento se desenvolve?

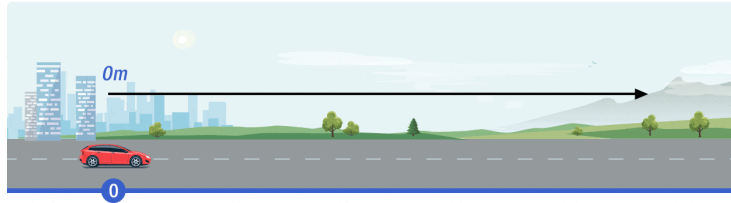
Resposta

O movimento segue uma reta – movimento retilíneo – e a falta de aceleração indica que

a velocidade do móvel é constante.



Quando a velocidade de um corpo é constante, podemos dizer que o corpo percorre deslocamentos iguais em intervalos de tempos iguais. Por causa dessa característica, esse tipo de movimento é chamado de **movimento retilíneo uniforme** ou MRU. Veja!



Carro em movimento retilíneo uniforme.

Podemos, então, definir a posição do corpo em função do tempo. Ou seja, sabendo a velocidade – que é constante – a cada instante de tempo, você consegue dizer em que posição o corpo se encontra. Obviamente, é necessário indicar no instante inicial ($t = 0s$) onde ele estava. Essa relação entre posição e tempo é dada pela equação horária de posição. Vamos lá!



Equação horária de posição no MRU

No caso de um MRU, como a velocidade V é constante, o espaço em função do tempo é dado por:

$$V = \frac{\Delta S}{\Delta t} \rightarrow S - S_0 = V \cdot t \therefore S = S_0 + V \cdot t$$

Note que esse movimento é bem restrito, ou seja, você precisa garantir que a velocidade instantânea do corpo seja sempre a mesma! E se ela não for? Nesse caso, temos um corpo acelerado e, assim, o corpo não percorrerá deslocamentos iguais em intervalos de tempos iguais.

Movimento retilíneo uniforme variado (MRUV)

Em um movimento retilíneo acelerado, você já sabe que a velocidade mudará com o tempo, podendo ser menor ou maior.

Suponha que você esteja em um carro, dirigindo em uma estrada bem lisa e sem curva, e comece a acelerar o carro. Você perceberá que a velocidade do carro irá aumentar. Mas o que isso significa em relação à distância percorrida por tempo? Vamos ao raciocínio!

Se você marcar 30 segundos no início da aceleração e 30 segundos após 2 minutos do início da aceleração, em que momento você terá percorrido uma distância maior?



Toque em um dos botões para responder.

Início da aceleração

2 minutos do início da aceleração

Anteriormente, vimos que a velocidade varia com a aceleração da seguinte forma:

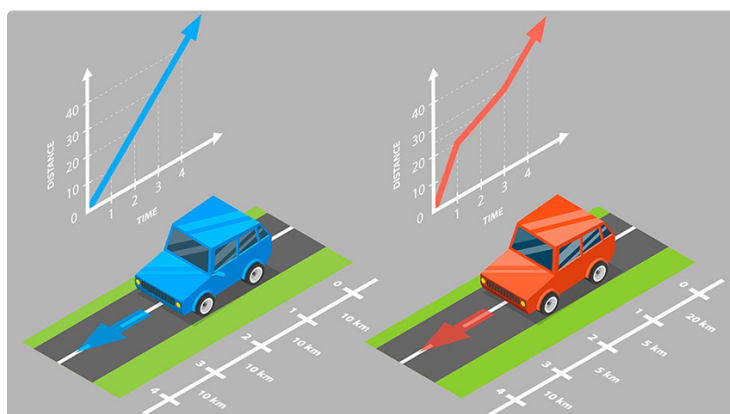
$$a = \frac{\Delta V}{t} \rightarrow V - V_0 = at \therefore V = V_0 + at$$

No entanto, como a posição varia com o tempo nesse movimento, como é a equação horária de posição nesse caso? Vamos lá entender!

Equação horária de posição no MRUV

Antes de iniciar, cabe ressaltar que usaremos a fórmula do deslocamento $\Delta \vec{S} = \vec{S} - \vec{S}_0$ para desenvolver a solução.

O gráfico a seguir indica um MRUV, pois a velocidade varia de maneira uniforme com o tempo.



Carro e gráfico representando o movimento uniforme à esquerda e movimento não uniforme à direita.

Veja as seguintes equações para compreender!

$$S = S_0 + V_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$$

$$\begin{cases} \Delta S = S - S_0 \\ V = V_0 + a \cdot t \end{cases} \Rightarrow S - S_0 = \frac{(V_0 + at + V_0) \cdot t}{2} \therefore S = S_0 + V_0 t + \frac{a \cdot t^2}{2}$$

Note que a relação entre posição e tempo é uma equação do 2º grau. Assim, a representação gráfica dessa relação será uma parábola. Quando ela terá concavidade para baixo e quando ela terá concavidade para cima?

Para aceleração no mesmo sentido da velocidade inicial, teremos concavidade para cima, ou seja, movimento acelerado. Para aceleração em sentido contrário ao da velocidade inicial, teremos concavidade para baixo, ou seja, movimento retardado (frenagem).

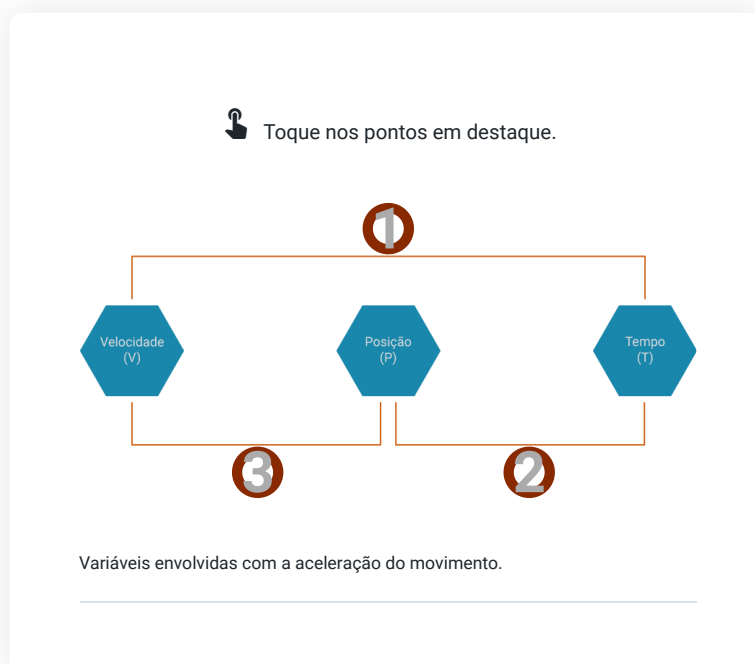
Atenção!

Como a velocidade em um MRUV varia, não podemos dizer que:

$$\vec{V} = \frac{\Delta \vec{S}}{\Delta t}$$

Nesse caso, essa relação nos dará a velocidade média! Lembre-se: velocidade média é diferente de velocidade instantânea.

Considerando nosso conhecimento sobre a aceleração no movimento, podemos observar a presença de três variáveis nesse contexto. Interaja com a imagem para entender!



Apresentamos a equação que relaciona velocidade com tempo.

Deduzimos a equação que relaciona posição com tempo.

E se estivermos interessados em relacionar velocidade com posição?
Utilize a equação de Torricelli!

Equação de Torricelli

Evangelista Torricelli foi um físico e matemático italiano do século XVII. Seus estudos basearam-se em questões geométricas, trajetórias balísticas, hidrostática e hidrodinâmica. Em 1644, publicou sua obra mais conhecida: *Opera Geométrica*.

Procurando determinar a velocidade de efluxo de um jato de líquido jorrando de um pequeno orifício do recipiente, ele notou que, se o jato for direcionado para cima, este alcançaria uma altura menor que o nível do líquido no recipiente. Porém, ele supôs que, se não houvesse resistências ao movimento, o jato alcançaria a mesma altura. Partindo dessa hipótese, equivalente ao princípio da conservação, Torricelli deduziu o teorema que leva seu nome.

A velocidade de um jato em um ponto de efluxo é igual a que uma única gota do líquido teria se pudesse cair livremente no vácuo, no nível de cima do líquido, no orifício do efluxo.

Essa velocidade de efluxo descrita no teorema de Torricelli pode ser calculada pela seguinte equação:

$$V^2 = V_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta S$$

Entretanto, para que serve essa equação? Em algumas situações, não há necessidade de conhecer a variável tempo. Veja um exemplo!

Suponha que você seja um engenheiro e queira construir uma pista para testar o impacto causado no motorista quando um carro, ao atingir a velocidade de 120 km/h, partindo do repouso, colide com um obstáculo resistente.

Sabendo a aceleração do carro, ao pisar até o final do acelerador, é possível você dimensionar o tamanho necessário da pista. Você não precisa saber quanto tempo o carro levará para atingir tal velocidade. Só precisará saber que distância ele percorre até atingir a velocidade de interesse.



Carro após colisão teste em parede sólida.

Como não queremos relacionar a variável tempo com as outras duas, isolando o tempo na equação horária da velocidade e substituindo na equação horária de posição, conseguimos chegar à equação de Torricelli. Acompanhe!

$$V = V_0 + a \cdot t \rightarrow t = \frac{V - V_0}{a}$$

Substituindo na equação de posição para o MRUV, temos:

$$S = S_0 + V_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$$

$$\Delta S = V_0 \left(\frac{V - V_0}{a} \right) + \frac{a}{2} \left(\frac{V - V_0}{a} \right)^2$$

$$\Delta S = \frac{(V_0 \cdot V) - V_0^2}{a} + \frac{V^2 - 2 \cdot V \cdot V_0 + V_0^2}{2 \cdot a} \therefore V^2 = V_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta S$$

Experimento de Galileo – planos inclinados

Apesar de ter começado sua vida acadêmica no curso de medicina, Galileo Galilei logo passou a estudar matemática. Conforme Rooney (2013), contrariando as crenças da época, Galileo refutava algumas afirmações de Aristóteles no que diz respeito ao movimento.

Para comprovar suas afirmações, Galileo utilizava o conceito de conduzir um experimento para testar uma ideia e de usar os resultados como evidência para apoiar um enunciado científico, tornando esse procedimento a base para o método científico. Para desenvolver o

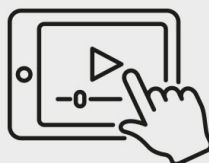
conceito de aceleração, um famoso experimento de Galileo baseava-se em rolar objetos em planos inclinados.



Galileo e seus experimentos

Confira neste vídeo os experimentos de Galileo com a utilização de planos inclinados.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



As contribuições de Galileo Galilei para a ciência foram inúmeras, em especial na área de movimentos de projéteis, corpos em queda livre, desenvolvimento de telescópios e estudo de corpos celestes.

Saiba mais

Leia o livro *A História da Física: Da filosofia ao enigma da matéria negra*, de Anne Rooney, no qual a autora apresenta mais detalhes sobre a vida e os experimentos de Galileo Galilei.

Aceleração da gravidade (g)

Como visto no experimento de Galileo, bolas colocadas em um plano inclinado são aceleradas e desenvolvem um MRUV.

Mas que aceleração é essa? Da mesma forma, um corpo em queda livre ou que é lançado verticalmente também desenvolve um MRUV.

Deixe cair agora uma caneta ou um caderno a partir da mesa em que você se encontra. Esse movimento é do tipo MRUV. Sendo assim, ele tem uma aceleração constante.



Você sabe dizer quanto vale a aceleração de um objeto que deixamos cair

no chão e por que ela existe?

Resposta

Essa aceleração existe devido à força gravitacional da Terra, ou seja, é uma força atrativa entre dois corpos diferentes (ex.: caneta ou caderno e a Terra), e vale – na superfície terrestre – aproximadamente $9,81 \text{ m/s}^2$. Essa aceleração varia com o inverso do quadrado da distância ao centro da Terra. Para alturas de até centenas de metros em relação à superfície da Terra, utilizamos o valor de $9,81 \text{ m/s}^2$ para aceleração da gravidade ou, para facilitar mais as contas, geralmente é utilizada a aceleração de 10 m/s^2 .

No experimento de Galileo, as acelerações são provenientes da aceleração da gravidade, mas, para cada inclinação de plano inclinado, tem-se uma aceleração diferente. Isso ocorre porque a aceleração a que o corpo fica submetido é a projeção da aceleração da gravidade na direção do plano inclinado.

Um corpo lançado verticalmente para cima desenvolverá um MRUV cuja aceleração é contrária ao movimento, logo, negativa. Isso permanecerá até o momento em que o corpo atingir sua altura máxima, ou seja, parar no ar.

A partir do instante seguinte, ele desenvolverá um MRUV com aceleração positiva, isto é, no mesmo sentido do movimento. O valor dessa aceleração será de $9,81 \text{ m/s}^2$. Veja na tabela uma comparação entre a trajetória, a velocidade e a aceleração dos movimentos.

	MRU	MRUV
Trajetoória	Reta	Reta
Velocidade	Constante	Variável

	MRU	MRUV
Aceleração	Nula	Constante, diferente de zero

Tabela: Comparação entre trajetória, velocidade e aceleração dos movimentos.
Bruno Suarez Pompe

Agora, veja as equações MRUV de acordo com as possíveis variáveis de interesse.

Equações MRUV		
Variáveis de interesse	Equação	Expressão
Velocidade e Tempo	Equação horária da velocidade	$V = V_o + a \cdot t$
Espaço e Tempo	Equação horária do espaço	$S = S_0 + V_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$
Velocidade e Espaço	Equação de Torricelli	$V^2 = V_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta S$

Tabela: Equações MRUV.
Bruno Suarez Pompe

Antes de prosseguirmos, tome nota de alguns conceitos importantes!

Relembrando

Estudamos até agora dois movimentos retilíneos, um acelerado e o outro não. No entanto, as grandezas cinemáticas apresentadas (posição, velocidade e aceleração) dependem do referencial escolhido, ou seja, um corpo pode ser visto com determinado movimento em relação a um observador, e com outro movimento para um segundo observador, podendo ser diferente para um terceiro, e assim por diante.

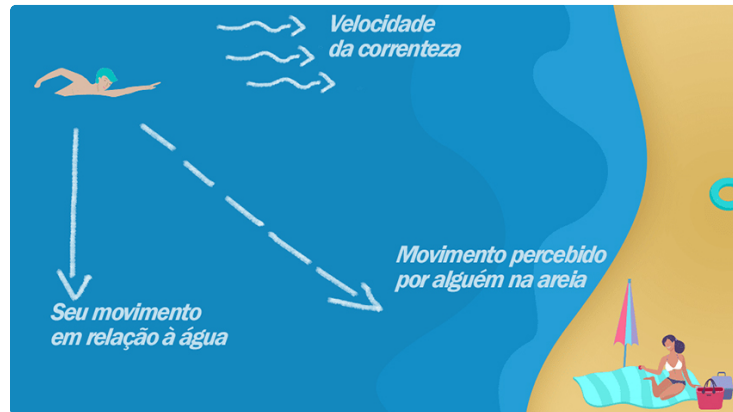
Movimentos relativos

Exemplo de movimento relativo

Breno foi à praia, e mesmo com avisos e bandeiras vermelhas na areia, ele entrou na água. Com o passar do tempo, Breno foi literalmente

arrastado. Para uma pessoa parada ao lado dele na água, Breno está em repouso. E para Júlia, sua amiga, que está na areia? Qual foi o movimento de Breno?

Agora, imagine que Breno passe a nadar em direção à praia e que a correnteza esteja paralela à areia, ou seja, puxando-o de lado. Como é o movimento de Breno percebido pelas pessoas na areia? Será um movimento inclinado.



A velocidade observada por alguém na areia é dada pela soma vetorial da sua velocidade em relação à água com a velocidade da correnteza. Veja!

$$\vec{V}_{\text{nadador} / \text{areia}} = \vec{V}_{\text{nadador} / \text{água}} + \vec{V}_{\text{água} / \text{areia}}$$

Vamos analisar outro exemplo.

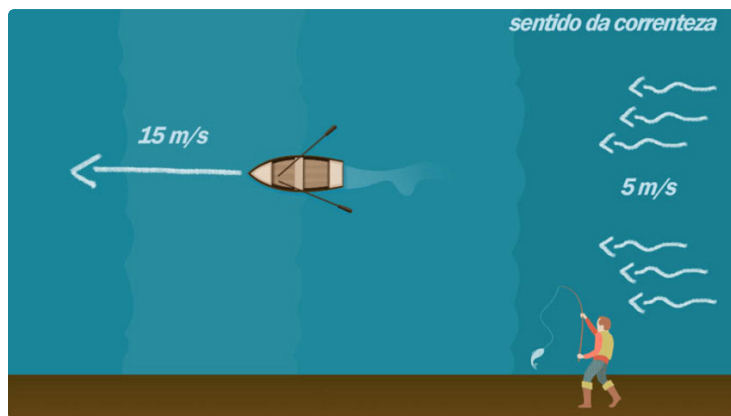
Júlia está dentro de um barco em um rio com uma correnteza que tem velocidade $V_C = 5 \text{ m/s}$.

Se o barco pode se mover a uma velocidade de 15 m/s , a que velocidade um pescador na margem do rio perceberá o movimento do barco quando ele se desloca no mesmo sentido da correnteza e quando ele se desloca no sentido contrário da correnteza? Acompanhe a seguir!



O barco se movimenta no mesmo sentido da correnteza

Nada melhor do que uma boa ilustração. Vamos lá!



Exemplo de barco com movimento no mesmo sentido da correnteza.

Para o pescador, Júlia se movimenta da esquerda para a direita. A fórmula que corresponde a esse movimento é:

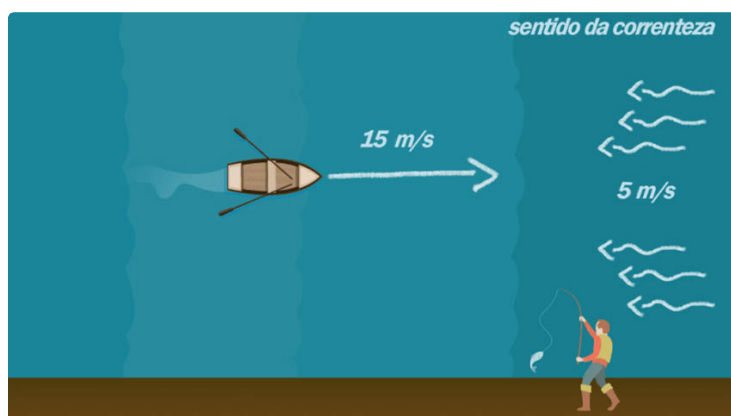
$$\vec{V}_{\text{barco/margem}} = \vec{V}_{\text{barco/água}} + \vec{V}_{\text{água / margem}} \Rightarrow \vec{V}_{\text{barco / margem}} = 20 \text{ m/s da direita para esquerda}$$

Note que, nesse caso, diferentemente da situação da praia, o movimento do barco em relação à água está na mesma direção da correnteza e mesmo sentido. Assim, a soma vetorial nada mais é do que a soma aritmética das velocidades.



O barco se movimenta no sentido contrário da correnteza

Uma boa ilustração é melhor do que palavras. Veja!



Exemplo de barco com movimento no sentido contrário da correnteza.

Logo, para o pescador, Júlia se movimenta da direita para a esquerda. A fórmula que corresponde a esse movimento é:

$$\vec{V}_{\text{barco / margem}} = \vec{V}_{\text{barco/água}} + \vec{V}_{\text{água / margem}} \Rightarrow \vec{V}_{\text{barco / margem}} = 20 \text{ m/s da di}$$

Note que, nesse caso, diferentemente do caso da praia, o movimento do barco em relação à água está na mesma direção da correnteza, porém, em sentido contrário. Assim, a soma vetorial nada mais é do que a diferença aritmética das velocidades.

Lançamentos oblíquos

Você já jogou basquete ou já arremessou uma bolinha de papel na lixeira? Se já, qual é a trajetória da bola? Retilínea? Não, é curvilínea. Essa curva é uma **parábola**! Vamos entender!

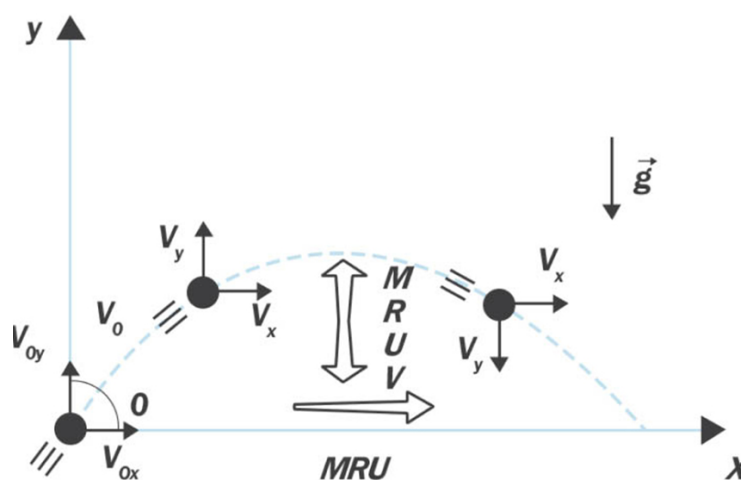
Quando lançamos obliquamente um corpo, isto é, formando um ângulo θ , entre 0° e 90° com a horizontal, obviamente o corpo estará submetido à aceleração da gravidade.

No entanto, essa aceleração se dá somente na direção vertical e, caso não haja nenhuma resistência do ar ou força adicional, não haverá aceleração na direção horizontal.



Mulher lançando bola de basquete em cesta.

Com isso, a velocidade possui uma componente no eixo y (vertical), que varia de forma uniforme, e uma componente no eixo x (horizontal) que é constante. A imagem abaixo mostra um lançamento oblíquo cujo vetor velocidade faz com o eixo x um ângulo θ qualquer.



Lançamento oblíquo com vetor de velocidade no eixo x demonstrando o ângulo.

Para descrever completamente o movimento, a maneira mais simples é dividi-lo em dois movimentos independentes. Um MRU na horizontal e um MRUV na vertical, tendo o tempo comum aos dois.

No eixo y , MRUV com velocidade inicial, sendo a projeção de v_0 no eixo y , ou seja:

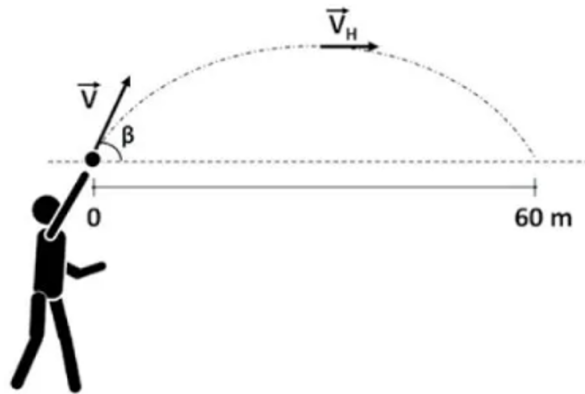
$$\vec{V}_{0y}(t) = V_0 \cdot \sin \theta$$

No eixo x , MRU com velocidade inicial, sendo a projeção de v_0 no eixo x , ou seja:

$$\vec{V}_{0x}(t) = V_0 \cdot \cos \theta$$

Agora, vamos simular um cenário para reforçar sua compreensão sobre o estudo até aqui.

(Fatec-SP) Em um jogo de futebol, o goleiro, para aproveitar um contra-ataque, arremessa a bola no sentido do campo adversário. Ela percorre, então, uma trajetória parabólica, conforme representado na figura, em 4 segundos.



Desprezando a resistência do ar e com base nas informações apresentadas, podemos concluir que os módulos da velocidade V , de lançamento, e da velocidade V_H , na altura máxima, são, em metros por segundos, iguais a, respectivamente,

Dados: $\sin \beta = 0,8$; $\cos \beta = 0,6$



Toque em um dos botões para responder.

25 e 15.

25 e 25.



Atividade Discursiva

(Unitau) Uma motocicleta com velocidade constante de 20 m/s ultrapassa um trem de comprimento 100 m e velocidade 15 m/s. Quanto tempo dura a ultrapassagem?

Digite sua resposta aqui

Chave de resposta ▾

Primeiramente, calcularemos a velocidade relativa de afastamento no mesmo sentido, através da sua fórmula:

$$v_{rel} = v_1 - v_2$$

$$v_{rel} = v_1 - v_2$$

$$v_{rel} = 20 - 15$$

$$v_{rel} = 20 - 15$$

$$v_{rel} = 5m/s$$

$$v_{rel} = 5m/s$$

Por fim, calcularemos a duração da ultrapassagem através da fórmula da velocidade:

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

$$5 = \frac{100}{\Delta t}$$

$$\Delta t = \frac{100}{5}$$

$$\Delta t = \frac{100}{5}$$

$$\Delta t = 20s$$

Pequenos vídeos, grandes explicações!

Movimento retilíneo uniforme (MRU)

Você sabe o que é MRU, linha reta e velocidade constante?

Prepare-se para aprender!

Movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV)

Você sabe o que é o MRUV e as diferenças em relação ao MRU? Prepare-se para aprender!

Falta pouco para atingir seus objetivos.

Vamos praticar alguns conceitos?

Questão 1

Em um dia qualquer, você está fazendo uma viagem de trem, no último vagão, encostado na parede traseira deste vagão.

Quando o trem entra em um túnel, de extensão 3.520 metros, você percebe que cai o sinal da sua internet, mesmo ainda seu vagão não tendo entrado no túnel. O problema é que isso acontece justo na hora em que você está assistindo a um jogo de futebol do seu time.

Considerando que o trem esteja trafegando com sua velocidade máxima, que é cerca de 80km/h, quanto tempo de jogo você perdeu?

Considere que o trem é composto por 6 vagões de mesmo tamanho (40 metros cada).

- A 1 minuto
- B 1 minuto e 30 segundos
- C 2 minutos
- D 2 minutos e 30 segundos
- E 3 minutos

Parabéns! A alternativa E está correta.

Note que o caminho percorrido por você, desde o momento em que perde o sinal de 4G até que retorne o sinal, é dado por:



$$\Delta S = 240m + 3520m + 240m \quad \therefore \Delta S = 4000m$$

Assim, como trata-se de um MRU:

$$V = \frac{\Delta S}{t} \rightarrow t = \frac{4,0km}{80km/h} \rightarrow t = 0,05h = 3min$$

Questão 2

Para um objeto que foi solto no ar, a uma altura maior que 180 metros, qual a sua aceleração ao final do 6º segundo? E sua velocidade? E seu deslocamento? Despreze a resistência do ar no objeto.

Digite sua resposta aqui

Chave de resposta ▼

A aceleração será constante e igual à aceleração da gravidade. Se considerarmos que essa aceleração é igual a 10m/s^2 , para facilitar nossas contas, e sabendo que se trata de um MRUV, temos que:

Questão 3

Analise os dois casos a seguir:

I. Você está em uma estrada viajando a 80km/h e está prestes a ser ultrapassado por um outro carro a 100km/h .

II. Você está em uma estrada, de mão dupla, viajando a 80km/h e outro carro, em sentido contrário, está com velocidade de 60km/h .

Para você, com que velocidades os outros carros se aproximam respectivamente?

- A 100km/h e 60km/h
- B 80km/h e 80km/h
- C 180km/h e 20km/h
- D 20km/h e 140km/h
- E 20km/h e 20km/h

Parabéns! A alternativa D está correta.

Considerando o seu referencial, que se move à velocidade constante de 80km/h em relação à estrada, no primeiro caso, como o outro carro possui a mesma direção e o mesmo sentido que você, é como se você estivesse parado e ele se aproximasse com a diferença de velocidade entre vocês, ou seja, 20km/h.

No segundo caso, como a direção é a mesma, mas vocês estão em sentidos contrários, é como se você estivesse parado e ele se aproximasse com a soma de velocidade entre vocês, ou seja, 140km/h. Você já deve ter reparado que, em uma estrada, os carros em sentido contrário passam rápido, enquanto os que estão no mesmo sentido parecem bem devagar, não é mesmo?

Questão 4

Lembra do barco no rio mencionado anteriormente? Suponha agora que esse mesmo barco (com velocidade 15m/s em relação ao rio), no mesmo rio (velocidade da correnteza 5m/s), movimenta-se sobre as águas formando um ângulo de 30° com a direção da correnteza, descendo o rio. O pescador, que ainda está lá e sem pegar nenhum peixe, observa que movimento do barco?

- A Um movimento retilíneo uniforme cuja velocidade é igual a 15m/s fazendo 30° com a direção da correnteza.
- B Um movimento retilíneo uniformemente variado, pois o barco está sendo arrastado pela correnteza.
- C Um movimento retilíneo uniforme com velocidade maior que 15m/s fazendo 30° com a direção da correnteza.
- D Um movimento retilíneo uniforme com velocidade maior que 15m/s fazendo um ângulo menor que 30° com a direção da correnteza.
- E Um movimento retilíneo uniformemente variado com a velocidade maior que 15m/s fazendo 30° , com a direção tendendo à direção da correnteza.

Parabéns! A alternativa C está correta.

Lembre que, para o pescador, a velocidade observada do barco é dada pela soma vetorial entre as velocidades do barco em relação ao rio e a velocidade da correnteza em relação à margem.

$$\vec{V}(\text{barco/pescador}) = \vec{V}(\text{barco/rio}) - \vec{V}(\text{rio/pescador})$$

$$\vec{V}(\text{barco} - \text{obs}) = (15 \cos 30^\circ \hat{i} + 15 \sin 30^\circ \hat{j}) + 5\hat{i} = (5 + 7,$$

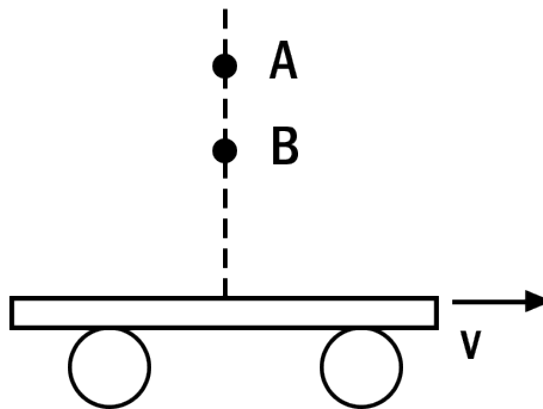


Logo, como não há aceleração, o movimento observado pelo pescador será retilíneo uniforme com velocidade maior que 15m/s e formando um ângulo menor que 30° com a correnteza.

OBS: E se o pescador estivesse em um barco, com o motor desligado, dentro do rio? Qual seria o movimento que ele observaria do outro barco? Basta ver que os dois estarão submetidos à mesma velocidade de correnteza. Logo, o pescador veria o barco se movimentar com a velocidade dele em relação ao rio, ou seja, 15m/s fazendo 30° com a direção da correnteza, ou seja, a resposta seria letra A.

Questão 5

(IME - 2013) De dois pontos A e B situados sobre a mesma vertical, respectivamente, a 45m e 20m do solo, deixa-se cair no mesmo instante duas esferas conforme mostra a figura abaixo:



Uma prancha se desloca no solo, horizontalmente, com movimento uniforme. As esferas atingem a prancha em postos que distam 2,0m. Supondo a aceleração local da gravidade igual a 10m/s² e desprezando a resistência do ar, determine a velocidade da prancha.

Digite sua resposta aqui

2,0m/s

Note que são dois movimentos: A plataforma se movimenta com MRU e há um movimento de queda livre das esferas. Como a prancha se move com velocidade constante, é isso que precisamos descobrir, sabendo que as esferas caem em pontos da prancha distantes de 2,0 metros, basta encontrar a diferença temporal entre os dois impactos. Desse modo:

- Tempo de queda da bola B:

$$S = S_0 + v_0 t_B + \frac{g t_B^2}{2}$$

$$20 = 0 + 0 \cdot t_B + \frac{10 t_B^2}{2}$$

$$20 = 0 + 0 + 5 t_B^2$$

$$4 = t_B^2$$

$$v > t_B = \sqrt{4} = 2$$

$$t_B = 2,0s$$

- Tempo de queda da bola A:

$$45 = 0 + 0 \cdot t_A + \frac{10 t_A^2}{2}$$

$$45 = 0 + 0 + 5 \cdot t_A^2$$

$$45 = 5 t_A^2$$

$$9 = t_A^2$$

$$t_A = \sqrt{9} = 3$$

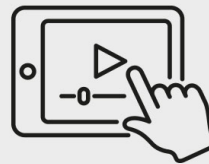
$$t_A = 3,0s$$

- Movimento da prancha:

$$v = \frac{\Delta S_{BA}}{t_{BA}} \rightarrow v = \frac{2,0}{3-2} \therefore v = 2,0m/s$$

Veja a resolução do professor.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Em um processo industrial, utiliza-se uma correia para lançar pedras horizontalmente, provenientes do processo de trituração, em um grande compartimento cilíndrico. Sabe-se que a correia funciona com duas velocidades possíveis: 2m/s ou 4m/s. Para que toda pedra possa cair dentro do recipiente, e sabendo que este fica a uma distância vertical de 3,2 metros da correia, a menor largura que esse recipiente poderá ter é de:

Considere a aceleração da gravidade igual a 10m/s^2 .

- A 1,0 metro
- B 1,6 metros
- C 2,0 metros
- D 2,4 metros
- E 3,2 metro

Parabéns! A alternativa B está correta.

Note que se trata de um lançamento de pedras, em que o ângulo de lançamento faz 0° graus com a horizontal. Assim, precisamos dividir o movimento em dois: MRU na horizontal e MRUV na vertical.

$$\begin{aligned}
 S &= S_0 + V_{0y}t + \frac{g^2}{2} \\
 3,2 &= 0 + 0 \cdot t + \frac{10t^2}{2} \\
 3,2 &= 0 + 0 + 5t^2 \\
 3.2 &= 5t^2 \\
 0,64 &= t^2 \\
 t &= \sqrt{0,64} = 0,8 \\
 t &= 0,8s
 \end{aligned}$$

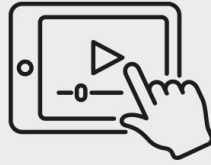
Ou seja, as pedras levam 0,8 segundos para alcançar a boca do cilindro. Este é o mesmo tempo que elas têm para percorrer uma distância na horizontal. Assim:

$$\begin{aligned}
 v_1 &= 2,0 \frac{m}{s} : v_1 = \frac{\Delta S_1}{t} \rightarrow 2 = \frac{\Delta S_1}{0,8} \therefore \Delta S_1 = 1,6m \\
 v_2 &= 4,0m/s : v_2 = \frac{\Delta S_2}{t} \rightarrow 4 = \frac{\Delta S_2}{0,8} \therefore \Delta S_2 = 3,2m
 \end{aligned}$$

Desse modo, a diferença de distância percorrida na horizontal entre as duas velocidades possíveis da máquina é de 1,6 metros. Logo, como não foi informada a localização do cilindro na horizontal, para que tenhamos a mínima largura possível, precisamos colocá-lo a uma distância horizontal de 1,6m da correia e a largura será também de 1,6m.

Veja a resolução do professor.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



3 - As três leis de Newton

Ao final deste módulo, você será capaz de identificar as três leis de Newton.

Dinâmica

Breve história

Até aqui estudamos alguns tipos de movimentos existentes sem nos preocuparmos com suas origens, ou seja, por que eles acontecem? O que define se o movimento será acelerado ou não? Agora, estudaremos as razões pelas quais os corpos se movimentam de determinada maneira. A área da mecânica que estuda as causas dos movimentos é chamada de **dinâmica**.



Desde os primórdios da civilização humana, o homem faz uso prático da mecânica, porém não há indícios de que ele tenha tentado desenvolver algum raciocínio lógico para explicar os fenômenos físicos envolvidos.

De acordo com Rooney (2013), a primeira evidência de estudo voltado a entender como e por que os movimentos são realizados vem da Grécia Antiga, durante o século IV AEC, com Aristóteles.



Aristóteles.



Segundo Rosa (2010), a física aristotélica baseava-se no raciocínio lógico, no bom senso e nos sentidos, sem submeter tais interpretações à verificação experimental sistemática, ou seja, os resultados obtidos dependiam da simples observação da natureza, sem quantificação matemática nem experimentos probatórios. Aristóteles não aceitava a ideia do vácuo e caracterizou os **movimentos dos corpos** em dois tipos. Observe!

Movimento natural

Na cabeça de Aristóteles, consistia naquele movimento que os corpos naturalmente buscariam alcançar, não havendo a necessidade de um esforço atribuído a isso.

Exemplos: a queda livre, o fato de uma bola parar de rolar no chão após certo tempo do impulso inicial e a subida de um gás no ar.

Movimento forçado ou violento

Aqueles que dependiam de um esforço para acontecer.

Exemplos: o lançamento de algo para cima ou o simples fato de empurrar uma caixa. Em outras palavras, Aristóteles acreditava que, para que algo pudesse se mover, ou o movimento era algo inerente àquela matéria ou deveria existir algum esforço contínuo garantindo o movimento.

Como consequência desse pensamento, Aristóteles afirmava que, com exceção de corpos celestes, o estado natural dos corpos é o repouso. Além disso, ele argumentava que um corpo mais pesado do que outro deveria esforçar-se mais para atingir seu estado natural, supondo, assim, que, no caso de dois corpos caírem em queda livre, o mais pesado deveria chegar primeiro ao chão.

Pense: ao dar um leve empurrão em uma bola no chão da sua casa, com impulso suficiente para ela se mover, o que acontece com a bola após certo tempo? Ela para.

Mas o que a faz parar? No pensamento de Aristóteles, ela para porque a posição natural da bola é o repouso. Se você quisesse que ela continuasse em movimento, deveria manter o empurrão. Faz sentido, não? O bom senso nos leva a crer nisso.



Esse pensamento prevaleceu por muitos séculos até que, nos séculos XVI e XVII, cientistas como **Nicolau Copérnico**, **Galileo Galilei**, **Johannes Kepler** e **Isaac Newton** rejeitaram essa forma de pensar. Como nosso assunto é dinâmica, focaremos mais as contribuições do italiano Galileo Galilei e, obviamente, do inglês Isaac Newton.

Desde cedo, de acordo com Rooney (2013), Galileo Galilei tinha grande interesse em projéteis e corpos em queda e refutava as ideias de Aristóteles sobre as causas dos movimentos. Há uma lenda sobre ele que diz que, para confirmar suas ideias sobre a queda de objetos diferentes, Galileo teria jogado vários tipos de balas de canhão, de diversos tamanhos e pesos, do alto da Torre de Pisa.

Não há evidências concretas sobre esse experimento, mas, sim, dos experimentos dos planos inclinados conforme já mencionados.



Galileo Galilei.

Antes de continuarmos com os avanços de Galileo, queremos saber sua opinião.

1. Pensando pelo senso comum, se jogarmos do alto de um prédio uma maçã e uma bola de boliche, qual chega primeiro no solo?

- ☐ A maçã
- ☐ A bola de boliche

2. E se fizermos o mesmo experimento trocando a maçã por uma folha de papel?

- ○ A folha de papel
- ○ A bola de boliche

O senso comum nos leva a crer que o objeto mais pesado chegaria antes, tanto no primeiro caso quanto no segundo, concordando com Aristóteles. No entanto, não é isso que acontece. Galileo, em seus experimentos de plano inclinado (além de alguns soltando utensílios do alto de construções), comprovou que os objetos chegam ao mesmo tempo no solo.

O que faz a maçã e a folha chegarem depois da bola de boliche é uma força chamada **resistência do ar**. Essa força atua no sentido contrário ao do movimento de um objeto qualquer, sendo exercida pelo ar com a intenção de restringir o movimento do objeto.

Se pudéssemos isolar os corpos de influências externas, ou seja, deixá-los cair no vácuo, eles chegariam juntos, até mesmo uma folha de papel. O fato de não acreditar no vácuo fez Aristóteles não chegar a essa mesma conclusão, segundo alguns pesquisadores.

Quando um corpo cai em queda livre no ar, uma força contrária ao seu movimento aumenta à medida que o corpo desce. Essa força existe devido ao atrito criado entre o corpo e o fluido, no caso, o ar, e ela é chamada de resistência do ar.

Para alturas muito grandes, é possível que um corpo em queda livre atinja uma velocidade limite, isto é, a força da resistência do ar se iguala à força peso e, assim, o corpo passa a se movimentar em MRU.

Imagine agora uma pessoa andando de skate em uma rampa ou uma bola em uma superfície bem lisa. Você consegue explicar o movimento?

Quanto mais liso for o plano, maior velocidade a pessoa irá adquirir e mais alto ela irá no outro plano. A pessoa alcança uma altura muito próxima da qual foi solta. Após determinado intervalo de tempo, essa pessoa alcançará o repouso.

No entanto, a razão para isso não é o que Aristóteles afirmava – que o natural para uma pessoa no skate é o repouso, então ela busca isso –, mas sim a existência de uma força contrária ao movimento, chamada **força de atrito**. Confira o que eventualmente acontece com o passar do tempo e a ação da **força de atrito** (força que se opõe ao movimento dos corpos).

Força de atrito

Força de atrito é uma força que se opõe ao movimento dos corpos.



Exemplo da ação da força de atrito com o passar do tempo.

E se não houvesse atrito? O que aconteceria com o menino no skate ou com uma bola, no caso do exemplo de Galileo?

Galileo se fez essa mesma pergunta, e foi além: e se do outro lado não estivesse outro plano inclinado? E se fosse um plano horizontal? Ele raciocinou: na descida, a bola ganha velocidade. Na subida, ela perde velocidade. Isso ocorre independentemente do atrito (você já sabe o motivo – devido à aceleração da gravidade, movimento retilíneo uniformemente variado). E na reta horizontal, o que aconteceria?

A conclusão a que Galileo chegou foi que a bola continuaria seu movimento de forma retilínea e uniforme, ou seja, desenvolvendo um MRU com a velocidade igual a do final da rampa. Confira com o exemplo da pessoa no skate!



Exemplo de MRU em condição sem atrito.

Essa análise de Galileo mostrou um novo caminho que poderia ser seguido, sendo o que ocorreu. No mesmo ano de sua morte, nascia um inglês que definiria novos conceitos da mecânica, com suas três leis, que valem (de certa forma) até os dias de hoje. O nome dele com certeza você já ouviu falar: **Isaac Newton**.



Isaac Newton.

Ele desenvolveu as três leis do movimento em seu livro *The Principia, Mathematical Principles of Natural Philosophy*, em 1687. Outras duas edições foram publicadas em 1713 e 1726.

Essas leis definiram a física mecânica durante dois séculos, até as teorias de Albert Einstein, no século XX.

São essas três leis que estudaremos agora e que farão você entender as causas dos movimentos.

1ª Lei de Newton – Lei da inércia

Inércia

Essa lei diz que um corpo permanecerá em repouso ou em movimento retilíneo uniforme até que uma força externa seja exercida sobre ele.



Você sabe o que é inércia?

Resposta

Inércia é a propriedade que um corpo tem em resistir a uma mudança de movimento. Em outras palavras, é a tendência em manter-se em repouso ou em movimento retilíneo uniforme.

O conceito de inércia foi descrito pela primeira vez por Galileo Galilei no início do século XVII, apesar de ele não ter elaborado o conceito como conhecemos hoje.



Por exemplo, temos uma bola de basquete e outras bolas menores de outros esportes no chão. Em qual delas eu preciso empregar mais esforço para fazê-la sair do repouso? Obviamente que é a de basquete. Por quê? Porque a inércia dela é maior, ou seja, a resistência dela em sair do repouso é maior. Se quisermos quantificar essa inércia, inserimos um novo nome para isso: **massa**.



Bola de basquete, golfe e baseball.



Você concorda que a primeira parte da lei da inércia faz todo sentido? Se um corpo está em repouso, para que ele passe a se mover é preciso agirmos de alguma forma sobre ele. Não tem como algo começar a se mover por vontade própria!

A segunda parte dessa lei é mais complicada de ser observada no dia a dia, o que levou Aristóteles a definir erroneamente as causas do movimento. É difícil verificarmos no cotidiano porque, geralmente, quando um corpo entra em movimento, esperamos que ele pare em algum momento. E por que ele para? Isso pode ocorrer por várias

razões, e todas elas envolvem uma força externa. Pode ser atrito, resistência do ar, um empurrão contrário ou algo bloqueando o caminho.

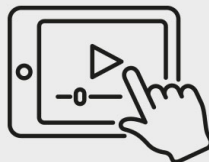
Só conseguimos confirmar a segunda parte dessa lei em um ambiente sem nenhuma interferência externa, ou seja, sem nenhuma força atuando no corpo. Esse ambiente é o **vácuo**. Na química, na física e na linguagem cotidiana, o vácuo é um espaço onde a matéria é inexistente. O vácuo perfeito é impossível na natureza, ainda que haja situações muito próximas. O ser humano é incapaz de criar um vácuo.



1ª Lei de Newton

Confira no vídeo alguns conceitos sobre a 1ª Lei de Newton por meio de um exemplo prático do nosso cotidiano.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



2ª Lei de Newton – Lei da aceleração

Essa lei diz que a força aplicada a um corpo produz uma aceleração diretamente proporcional e a relação entre força e aceleração é dada por $\vec{F} = m\vec{a}$.

Já vimos que é de senso comum que, para colocarmos algo em movimento, é necessário haver alguma interação com outros corpos. Se você ainda não está seguro disso, vamos nos aprofundar a seguir.



2ª Lei de Newton

Confira alguns conceitos sobre a 2ª Lei de Newton, por meio de alguns exemplos práticos.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Força

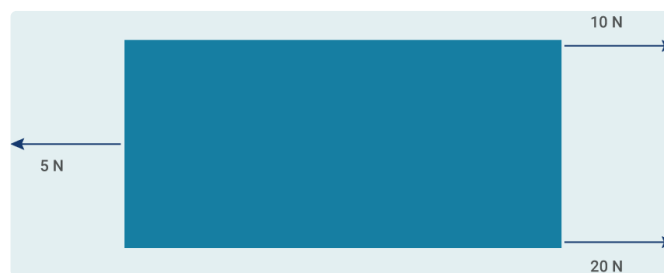
Podemos definir força como uma grandeza física capaz de, quando aplicada a um corpo, atribuir-lhe aceleração. Essa grandeza é vetorial, ou seja, possui módulo (valor), direção e sentido. Intuitivamente, é fácil verificar que força é uma grandeza vetorial.

Se você mover um sofá dentro de casa, por exemplo, haverá uma intensidade envolvida. Você precisará de mais ou menos esforço – isso seria o módulo da força. Considerando que ele não saia do chão – isso seria a direção da força. No caso horizontal, você também pode empurrá-lo ou puxá-lo – isso seria o sentido. Assim, podemos quantificar a 2ª Lei de Newton da seguinte forma:

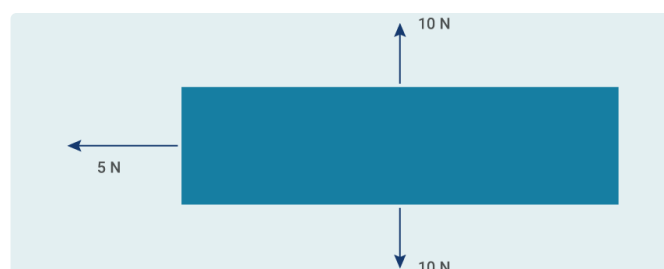
$$\vec{F}_R = m\vec{a}$$

Sendo $\vec{F}_R$ vetor força resultante, m a quantidade de inércia ou massa e $\vec{a}$ o vetor aceleração da partícula. A unidade de força é kgm/s^2 . Essa unidade, como não poderia ser diferente, é chamada de newton [N].

Essa relação entre força e aceleração é válida para corpos com massas constantes. Veja algumas delas e suas funções!

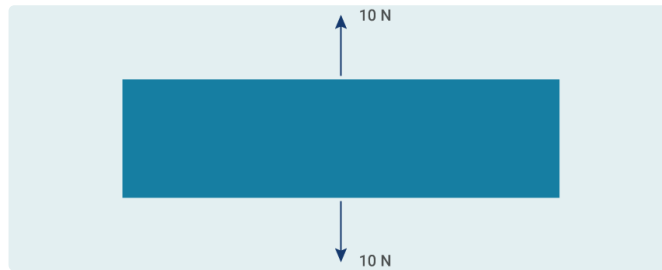


Força resultante de 25 N da esquerda para a direita.

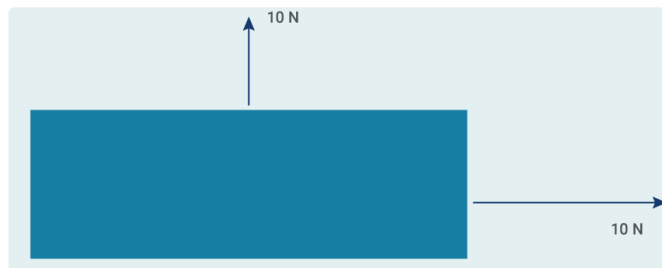


Força resultante de 5 N da direita para a

esquerda.



Força resultante nula.



Força resultante de $10\sqrt{2}N$ do sudoeste para o nordeste.

Mas todas as forças são iguais? A origem das forças pode ser diferente, mas o efeito que elas causam nos corpos segue a 2ª Lei de Newton.

Quando a força resultante em um corpo é nula, este permanecerá em repouso ou em movimento retilíneo uniforme, conforme descrito na 1ª Lei de Newton. Quando o corpo se encontra nesse estado, dizemos que ele está em equilíbrio.

Visto que as forças podem variar, elas são classificadas em diversos tipos, conforme detalhado a seguir.

Tipos de força

Força peso ($\vec{P}$)

É a força de atração gravitacional exercida sobre um corpo. Ela existe devido ao campo gravitacional considerável criado por grandes massas. Sendo assim, como força é massa vezes aceleração, a força peso é dada por $\vec{P} = m\vec{g}$. No caso de corpos na superfície terrestre, g vale aproximadamente $10m/s^2$ e está direcionada para o centro da Terra. A força peso sempre

terá a direção do centro da Terra. Quando estamos analisando um sistema na superfície terrestre, consideramos a força peso sempre na vertical e no sentido de cima para baixo (mesmo sentido da aceleração da gravidade).

Força normal ou força de contato ($\vec{N}$)

Força exercida por superfícies em um corpo, perpendicular à superfície de contato, sempre aparece quando há contato. Essa força é a que impede que um corpo parado no chão atravesse o solo, por exemplo. Se o corpo está apoiado em uma superfície plana e horizontal, a força normal será vertical. Se o corpo está apoiado em um plano inclinado, a força normal será perpendicular a esse plano inclinado.

A força normal não é uma reação à força peso.

Força de atrito ($\vec{F}_{at}$)

Força de atrito é a força que surge quando um corpo desliza ou tem tendência de deslizar sobre outro. Essa força depende da força de contato (N), da área de contato e do tipo de superfícies, basicamente, e é dada por $F_{at} = \mu \cdot N$, sendo: μ : uma constante de coeficiente de atrito. O atrito é gerado devido a irregularidades das superfícies (visíveis a olho nu ou não) e a força é sempre contrária ao movimento.

A força de atrito surge quando um objeto começa a se mover ou já está em movimento. Quando há apenas a tendência de movimento, o atrito é maior do que quando o objeto já está em movimento. Você já percebeu que, ao começar a arrastar algo, fica mais fácil de movê-lo depois que ele começa a se mover, mesmo aplicando a mesma força? Se um objeto está parado ou se movendo em linha reta com velocidade constante e não há forças agindo sobre ele, então não há força de atrito.

Força de tração ($\vec{T}$)

Força existente em cordas e fios quando tracionados, ou seja, esticados.

Força elástica ($\vec{F}_{el}$)

Força existente devido à deformação de sistemas elásticos. O sistema mais conhecido é a mola. Essa força é diretamente proporcional à deformação sofrida pelo sistema, porém de sentido contrário a essa deformação. Assim, podemos escrever que $\vec{F}_{ela} = -k\vec{x}$

Em abril de 1960, a Sra. Maxwell Rogers, na Flórida, ao descobrir que um carro caiu do macaco em cima do filho que trabalhava debaixo do veículo, levantou sozinha um lado do carro para que o filho fosse retirado. O carro pesava cerca de 16000N (massa de aproximadamente 1630 kg), dos quais ela provavelmente levantou cerca de 25%.

Saiba mais

Fique por dentro da história da Sra. Maxwell Rogers lendo o livro *O Circo Voador da Física*, de Jearl Walker (2015).

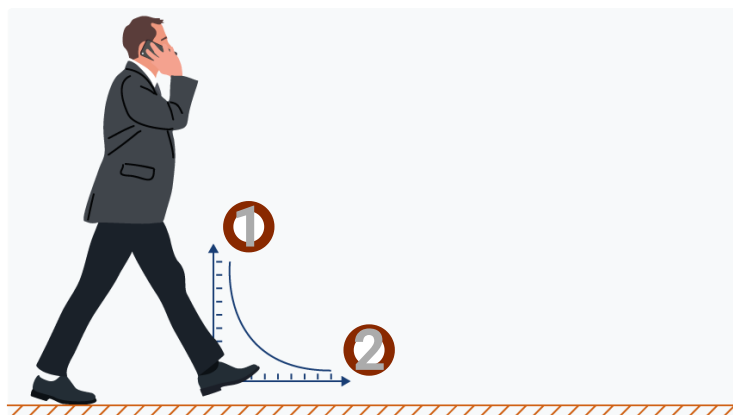
3ª Lei de Newton – Lei da ação e reação

Referenciais

Segundo essa lei, para **toda ação** existirá uma **reação** de igual valor e direção, mas de sentido oposto.

Você impulsiona o chão para trás, e o chão te joga para frente. Isso é possível devido ao atrito entre seus pés e o chão. É por isso que é tão difícil caminhar em um chão com sabão ou em uma pista de gelo.

 Toque nos pontos em destaque.



Você aplica sua força para trás, contra o solo.

E o solo devolve a força de atrito estática contra você.

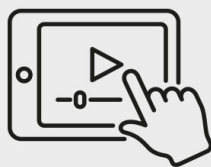
Ao realizar outra atividade, como nadar, você pega impulso empurrando a parede da piscina para trás e ela, como consequência, empurra você para frente.



3ª Lei de Newton

Compreenda neste vídeo alguns detalhes sobre a execução dos movimentos na 3ª Lei de Newton e entenda o que é ação e reação.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



A lei da ação e reação ensina que você não pode exercer força em alguma coisa sem que essa coisa faça força em você. Quando em uma partida de tênis de mesa, você dá uma raquetada na bolinha, a bolinha está dando uma bolada na raquete também. Essas forças têm o mesmo módulo e direção, porém sentidos contrários. Propulsão de foguetes, recuos de armas e uma simples balança são exemplos da 3ª Lei de Newton.

Sabemos que o movimento é relativo e depende de um referencial. A partir dessa constatação, cabe a pergunta.



Em quais referenciais
valem as leis de Newton?

Resposta

Se as leis de Newton valem para determinado referencial R, também valerão para outro referencial S que se mova com

velocidade constante em relação a R (ou que esteja em repouso em relação a R).

Os referenciais abordados pelas leis de Newton são chamados de referenciais inerciais. Veja a diferença entre eles e os referenciais não inerciais.

Referencial inercial

É aquele em que seu movimento é de vetor velocidade constante ou encontra-se em repouso em relação a outro referencial. Para esse tipo de referencial, valem as leis de Newton.

×

Referencial não inercial

É aquele em que seu movimento é acelerado em relação a outro referencial. Para esse tipo de referencial, a priori, não valem as leis de Newton.

Para que as leis de Newton sejam válidas nesse tipo de referencial, precisamos considerar a existência de uma força fictícia, em que $\vec{F}_{\text{fictícia}} = m\vec{a}$ sendo $\vec{a}$ a aceleração desse referencial.

O planeta Terra é um referencial inercial ou não inercial?

Pela definição acima, a Terra é um referencial **não inercial**, porque seus movimentos de rotação em torno de si e translação em torno do Sol são acelerados. Porém, na maioria das aplicações práticas, podemos considerar a Terra como um referencial inercial.



Render 3D da terra com foco na Europa.

Para fechar os estudos sobre as leis de Newton, vamos a um breve resumo sobre cada lei!

1. Com relação à 1ª Lei de Newton, a lei da inércia, complete:

Se não houver força atuando, os corpos se movem em linha reta com velocidade constante (MRU) ou permanecem em

2. Com relação à 2ª Lei de Newton, a lei da aceleração, complete:

A força resultante em um corpo de massa constante produz uma aceleração diretamente proporcional ao módulo dessa força. Assim, descrevemos a fórmula da força como

3. Com relação à 3ª Lei de Newton, a lei da ação e reação, complete:

Para toda ação de uma força, haverá uma de mesmo módulo, direção e sentido contrário.

Tentar novamente

Verificar

Agora, vamos simular um cenário para reforçar sua compreensão sobre o estudos até aqui.

Situação-problema

Vamos conferir!



Pescador se preparando para pescaria com uma árvore frutífera próxima à margem.

Um pescador estaciona seu barco leve à margem de uma lagoa calma, em frente a uma árvore carregada de deliciosos frutos. Esse barco pode mover-se livremente sobre a água, uma vez que o atrito entre ambos pode ser considerado muito pequeno.



Pescador andando ao longo do barco e tentando alcançar os frutos da árvore sem sucesso.

Após algum tempo de inútil pescaria, o pescador sente vontade de comer alguns frutos. Coloca cuidadosamente sua vara de pescar no chão do barco e dirige-se, andando sobre ele, em direção à árvore.

Conseguirá o pescador alcançar a árvore? Não! O pescador não conseguirá alcançar a árvore. Seguindo a 3ª Lei de Newton, ao andar, o pescador empurra o chão do barco para trás, enquanto o chão do barco empurra o pescador para frente. Como não há atrito ou qualquer força contrária ao movimento do barco, ele andará para frente, distanciando-se da árvore.

Para fixar os conhecimentos, vamos praticar o que aprendemos até aqui.



Atividade Discursiva

Você precisa projetar um elevador que trabalhe de três formas possíveis:

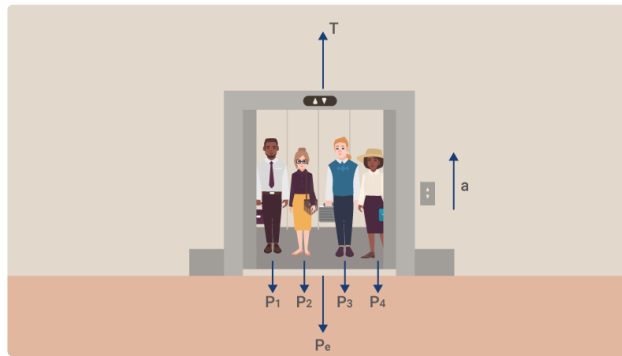
- Acelerado para baixo com aceleração de $1,0 \text{ m/s}^2$.
- Velocidade constante.
- Acelerado para cima com aceleração de $1,0 \text{ m/s}^2$.

Você sabe que o cabo de aço utilizado suporta no máximo uma tensão de $15,4 \text{ kN}$ e que o elevador vazio tem massa igual a 800 kg . Qual será o limite de peso desse elevador, ou seja, qual valor de carga máxima em massa (kg) você deixará especificado em um aviso dentro do elevador? Considere que, por garantia, você indique na placa a carga máxima com uma margem de 20% a menos e que a aceleração da gravidade vale $g = 10 \text{ m/s}^2$ em todo o percurso do elevador.

Digite sua resposta aqui

Chave de resposta ▾

Nessa situação, o primeiro passo a ser seguido é entender qual das três formas possíveis de trabalho do elevador exigirá a maior força no cabo de aço, ou seja, definir o limitante superior. Note que esse caso será o terceiro, em que além de usar força para suportar o peso do elevador e das pessoas dentro, o motor precisará fornecer uma força para acelerar o elevador com $1,0 \text{ m/s}^2$. Assim, o esquema fica da seguinte forma:



Esquema gráfico do elevador.

P_e é o peso do elevador, P_1 , P_2 , P_3 e P_4 são os pesos das pessoas dentro do elevador e T é a tração no cabo.

Pela 2ª Lei de Newton, podemos escrever que:

$$F_r = T - (P_e + P_1 + P_2 + P_3 + P_4) = m_{\text{total}} a$$

$$T - m_e g - m_{\text{pessoas}} g = (m_e + m_{\text{pessoas}}) a$$

Estamos interessados na variável m_{pessoas} . Assim, usando o valor máximo da tração:

$$\begin{aligned} 15400 - 800 \times 10 - m_{\text{pessoas}} \times 10 &= (800 + m_{\text{pessoas}}) 1 \\ 7400 - 10m_{\text{pessoas}} &= 800 + m_{\text{pessoas}} \\ 11m_{\text{pessoas}} &= 6600 \therefore m_{\text{pessoas}} = 600 \text{ kg} \end{aligned}$$

Para que haja uma margem de segurança de 20%, você colocará na placa um limite de 480 kg.

Obs.: Note que a 3ª Lei de Newton também é usada nessa questão, mesmo que de forma inconsciente. Repare que as pessoas estão em contato com o piso do elevador, logo, existe uma força de contato que as impulsiona para cima. Por ação e reação, essa mesma força impulsiona o elevador para baixo. Como as pessoas e o elevador estão no mesmo referencial (nesse caso, não inercial, por estar acelerado), podemos considerar o sistema como uma coisa só: elevador + pessoas.

Pequenos vídeos, grandes explicações!

2ª Lei de Newton

Você já entendeu o que é a 2ª Lei de Newton e como funciona a clássica fórmula $F = ma$? Ligue o acelerador e vamos lá!

3ª Lei de Newton

Você já entendeu o que é a 3ª Lei de Newton e como funciona as forças de ação e reação? Prepare-se para aprender!

Falta pouco para atingir seus objetivos.

Vamos praticar alguns conceitos?

Questão 1

Qual das seguintes situações não está relacionada com a Terceira Lei de Newton?

- A Um martelo batendo em um prego.
- B Um helicóptero pairando sobre uma montanha.
- C Uma bola de futebol parando de rolar no gramado.
- D Um salto vertical para alcançar algo no alto.
- E O chute de um carateca em uma tábua de madeira.

Parabéns! A alternativa C está correta.

A única que não está relacionada diretamente à Terceira Lei de Newton é a letra C, visto que a bola de futebol para de rolar devido à força de atrito contrária ao seu movimento, existente entre a bola e o gramado.

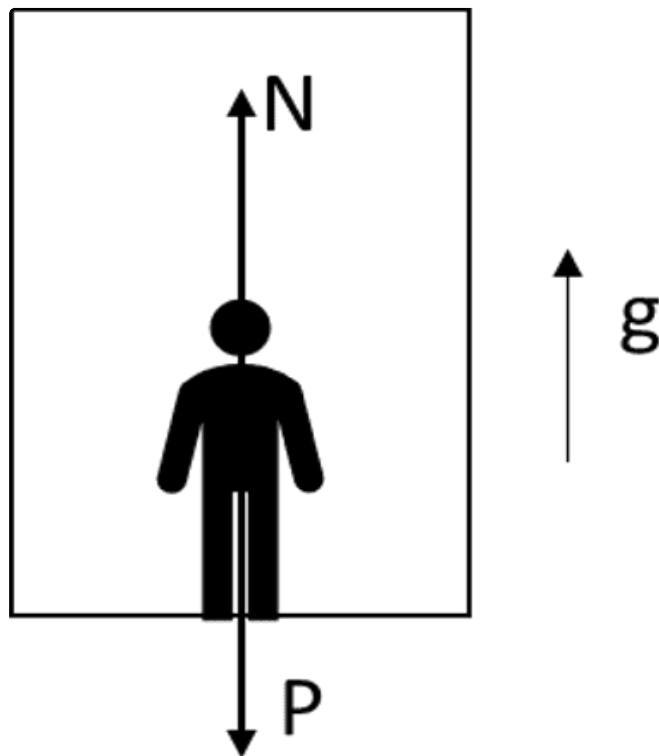
Questão 2

Um elevador foi projetado para subir com aceleração igual a g e descer com aceleração também igual a g . Nas situações em que o elevador estiver subindo e descendo, uma pessoa de massa M dentro do elevador sentirá forças normais em seus pés respectivamente iguais a:

- A $mg ; mg$
- B $mg ; 2mg$
- C $0, mg$
- D $2mg ; 0$
- E $mg ; 0$

Parabéns! A alternativa D está correta.

- Elevador subindo:

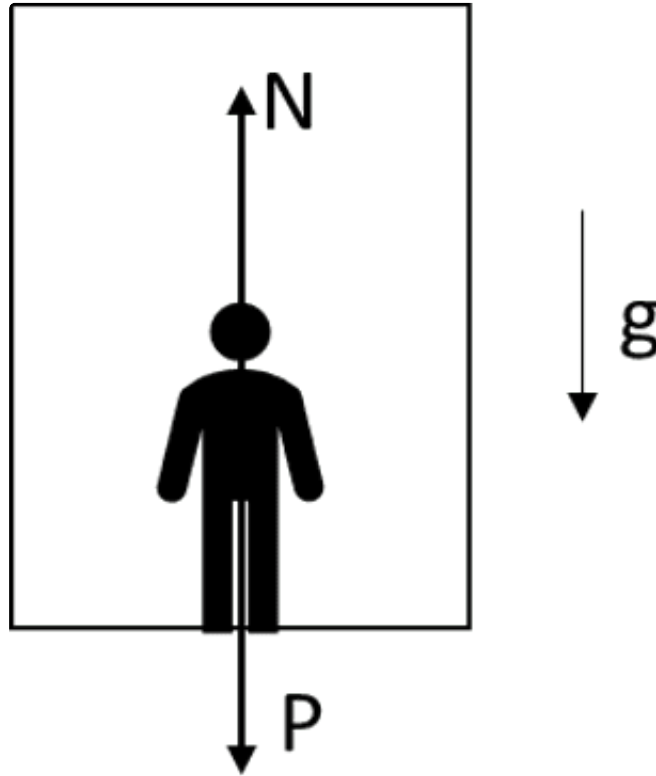


Pela 2ª Lei de Newton, a soma das forças resultantes presentes em um corpo é igual à massa vezes a aceleração. Nesse caso, a força resultante está para cima, pois a aceleração é igual a g e para cima. Assim:

$$F_{\text{res}} = N - P = m \underbrace{a}_g$$

$$N = mg + mg \therefore N = 2mg$$

- Elevador descendo:



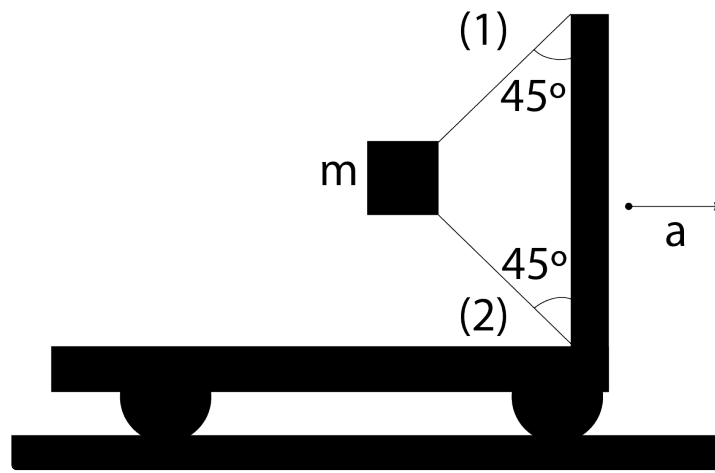
Pela 2ª Lei de Newton, a soma das forças resultantes presentes em um corpo é igual à massa vezes a aceleração. Nesse caso, a força resultante está para baixo, pois a aceleração é igual a g e para baixo. Assim:

$$F_{\text{res}} = P - N = m \underbrace{a}_g$$

$$N = mg - mg \therefore N = 0$$

Questão 3

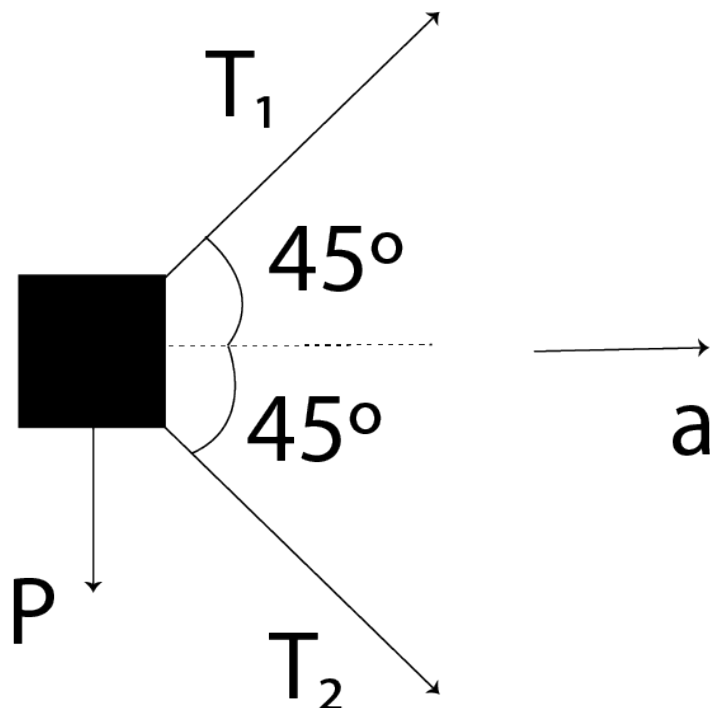
Um carro move-se para a direita com aceleração 20m/s^2 e o bloco $m = 1\text{kg}$ não se move em relação ao carro. Sendo $g = 10\text{m/s}^2$, encontre a razão T_1/T_2 entre as trações nos fios ideais.



- A 1
- B 2
- C 3
- D $1/2$
- E $1/3$

Parabéns! A alternativa C está correta.

Se isolarmos o corpo m , as forças que atuam sobre ele são:



O corpo está acelerado na horizontal, da esquerda para direita, com $a = 20 \text{ m/s}^2$ (esta é a aceleração do carro e é dito que a massa m não se move em relação ao carro, ou seja, possui a mesma aceleração que ele). Assim, pela 2ª Lei de Newton, a soma das forças, ou seja, a força resultante (que precisará ser na horizontal, da esquerda para direita) é igual à massa vezes aceleração.

Na horizontal:

$$T_1 \cos 45^\circ + T_2 \cos 45^\circ = ma$$

Na vertical:

$$\begin{cases} \sqrt{2}(T_1 - T_2) = 20 \\ \sqrt{2}(T_1 + T_2) = 40 \end{cases} \Rightarrow T_1 = \frac{30}{\sqrt{2}} N : T_2 = \frac{10}{\sqrt{2}} N$$

Logo, $(T_1/T_2) = 3$

Isso acontece porque T_1 é a única força que tem componente para cima. Para baixo, há a força Peso e uma componente de T_2 . Como não há aceleração resultante na vertical, as componentes nessa direção precisam se equilibrar.

Questão 4

(ITA-2000) Uma pilha de seis blocos iguais, de mesma massa m , repousa sobre o piso de um elevador, como mostra a figura. O elevador está subindo em movimento uniformemente retardado com uma aceleração de módulo a . O módulo da força que o bloco 3 exerce sobre o bloco 2 é dado por:

A $3m(g + a)$

B $3m(g - a)$

C $2m(g + a)$

D $2m(g - a)$

E $m(2g - a)$

Parabéns! A alternativa D está correta.

Apesar de o elevador ainda estar subindo, a atuação da aceleração é para baixo, ou seja, em um sentido de retardar esse movimento de subida. Assim, se aplicarmos a 2ª Lei de Newton em cada bloco, a partir do bloco 1 até o bloco 3, teremos:

- Bloco 1:

$$\begin{aligned} F_r &= m_1 a \\ P_1 - N_{21} &= m a \\ m g - N_{21} &= m a \therefore N_{21} = m(g - a) \end{aligned}$$

- Bloco 2:

Pela 3ª Lei de Newton, a força de contato que 1 faz em 2 (N12) é igual à força de contato que 2 faz em 1 (N21), porém de sentidos contrários. Assim:

$$\begin{aligned} F_r &= m_2 a \\ P_2 + N_{12} - N_{32} &= m a \\ m g + m(g - m a) - N_{32} &= m a \therefore N_{32} = 2m(g - a) \end{aligned}$$

O bloco 1 realiza uma força no bloco 2, assim como o bloco 2 realiza uma força no bloco 1 de mesma intensidade.

A mesma coisa acontece entre o bloco 2 e o bloco 3, e assim, sucessivamente. Com isso, poderíamos simplesmente considerar os blocos 1 e 2 como um único, e o 3, 4, 5 e 6 como outro objeto. Por que? Porque as forças de contato entre eles são chamadas de forças internas, ou seja, elas se anulam entre si. Assim, podemos juntá-los como um corpo só e considerarmos somente as forças externas. A resolução do problema ficaria: A força exercida pelo bloco 3 sobre o bloco 2 é a força Normal relativa aos dois blocos: 1 e 2. A força resultante é dada pela diferença do Peso pela força Normal. Portanto:

$$\begin{aligned} F_r &= (m_1 + m_2) a \\ P_1 + P_2 - N &= (m_1 + m_2) a \end{aligned}$$

Como os blocos são iguais, $m_1 = m_2 = m$. Assim:

$$2m g - N = 2m a \therefore N = 2m(g - a)$$

Seguindo esse mesmo raciocínio, você consegue dizer qual a força que o bloco 4 faz no bloco 5?

Acertou se respondeu $4m(g-a)$.

Questão 5

(UNICAMP- 2016) Um pescador estaciona seu barco leve à margem de uma lagoa calma, em frente a uma árvore carregada de deliciosos frutos. Esse barco pode mover-se livremente sobre a água, uma vez que o atrito entre ambos pode ser considerado muito pequeno. Após algum tempo de inútil pescaria, o pescador sente

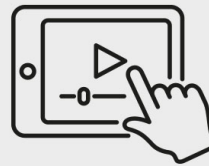
vontade de comer alguns frutos. Coloca cuidadosamente sua vara de pescar no chão do barco e dirige-se, andando sobre ele, em direção à árvore. Conseguirá o pescador alcançar a árvore? Por quê?

Digite sua resposta aqui

Chave de resposta ▾

O pescador não conseguirá alcançar a árvore. Seguindo a 3ª Lei de Newton, ao andar, o pescador empurra o chão do barco para trás, enquanto o chão do barco empurra o pescador para frente. Como não há atrito ou qualquer força contrária ao movimento do barco, este andará para frente, distanciando-se da árvore. Veja a resolução do professor.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Questão 6

Nessa questão você precisará usar conceitos abordados neste módulo e conceitos abordados nos módulos anteriores.

Você precisa empurrar uma caixa de madeira, de 30kg, em um solo rugoso, a uma distância de 32 metros. Aplicando as forças provenientes dos seus músculos, você passa a empurrar a caixa, aplicando a ela uma força constante de 50N. Porém, o chão lhe oferece uma resistência de 20N. Em quanto tempo você consegue chegar na posição de interesse?

Digite sua resposta aqui

Chave de resposta ▾

Considerando que a caixa encontrava-se inicialmente em repouso e que, tanto a força aplicada à caixa por você quanto a força de atrito são constantes em todo o trajeto, pela 2ª Lei de Newton temos que:

$$F_r = m_{\text{caixa}} a \rightarrow (50 - 20) = 30a \therefore a = 1,0 \text{ m/s}^2$$



Ou seja, você consegue empurrar a caixa com uma aceleração constante de $1,0 \text{ m/s}^2$. Assim, para saber o tempo de deslocamento, aplicamos a equação horária de espaço:

$$S = S_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$$
$$32 = 0 + 0 + t + \frac{1 \cdot t^2}{2} \rightarrow t = 8,0 \text{ s}$$

Veja a resolução do professor.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



4 - Energia e trabalho

Ao final deste módulo, você será capaz de aplicar os conceitos de energia e trabalho, bem como os tipos de energia e sua conservação.

O conceito de energia

Energia X Trabalho

No cotidiano, temos conceitos assimilados de modo que são fáceis de executar, mas difíceis de definir.

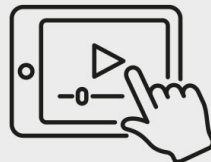
Algumas pessoas costumam associar energia a questões espirituais e trabalho a tarefas executadas mediante recompensa financeira, mas quando estudamos tais definições em física, vemos que as explicações são bem diferentes.



Definindo energia e trabalho na física

Assista ao vídeo e fique por dentro da diferença entre os conceitos de trabalho e energia no campo da física.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



O que é energia para alguns físicos

Ao longo dos séculos, físicos e matemáticos definiram o que é energia, porém cada um apresentou uma descoberta, ou divergência, a respeito do assunto. Veja as definições de energia para alguns deles!



Gottfried Leibniz, século XVII

Foi o primeiro a explicar matematicamente o conceito de energia, estudando a conservação entre diferentes tipos de energia, que ele chamou de *vis viva* (Rooney, 2013).



Émilie du Châtelet, século XVIII

Definiu a energia de um corpo em movimento como sendo proporcional à sua massa multiplicada pela velocidade ao quadrado.



Richard Phillips Feynman, século XX

Um dos maiores físicos da época e ganhador do Prêmio Nobel em 1965, Feynman escreveu no livro *Lectures on Physics* que até hoje não sabemos exatamente o que é energia.

No entanto, mais importante que saber o que é energia, é saber as formas existentes de energia e como transformar uma forma em outra. Além disso, é importante termos a noção de que a energia **não pode** ser criada nem destruída, somente **transformada**.

Comentário

Os conceitos de trabalho e energia são extremamente importantes em diversas engenharias, em que transformamos uma forma de energia em

outra, além de desenvolver e produzir dispositivos que utilizam energia para realizar algum tipo de trabalho.

Podemos dizer que máquinas, engenhocas e dispositivos, em geral, são objetos que juntam energias de várias formas e transformam em outras.

Aqui trataremos de trabalho e energia, a relação entre essas duas grandezas, as formas de energia mecânica existentes e, por fim, falaremos da conservação de energia.

Trabalho

É um esforço necessário para **variar** a energia de algo, ou seja, para uma força F poder realizar trabalho (W , de *work*), necessariamente, o corpo precisará se deslocar, mudando sua posição.

Matematicamente, podemos definir trabalho como sendo uma grandeza escalar dada pelo produto escalar entre o vetor força e o vetor deslocamento.

As unidades mais comuns para trabalho são o **joule** [J] e a **caloria** [cal]. Essas unidades também são usadas para energia.

Confira a fórmula do trabalho!

$$W = \vec{F} \cdot \Delta \vec{S}$$

Veja alguns exemplos utilizando ações do nosso cotidiano.

Tirar um livro da parte baixa da estante e colocar na parte alta

Quando você tira um livro da parte de baixo da estante e coloca na parte de cima, você está realizando trabalho? Sim, você está movimentando uma carga de forma contrária à gravidade da Terra.



Mulher colocando livro de volta em estante.

Existe o fator força (necessário para movimentar o livro para cima) e existe o fator deslocamento (parte de baixo da estante para parte de cima da estante).

Quando o mesmo livro, após ser colocado na estante de cima, cai no chão, você realizou trabalho? Bem, você não, mas houve trabalho envolvido: o trabalho da força peso. Mais uma vez, existiu o fator força (força peso puxando o livro para baixo) e o deslocamento (parte de cima da estante até o chão).

Exercício físico na academia



Você já fez um treino chamado de isometria? Tal treino consiste em contrair determinado músculo (ou conjunto de músculos) durante certo tempo de maneira estática. Por exemplo, suponha que você esteja deitado, fazendo um exercício de supino – que consiste em levantar e abaixar halteres na altura do peito, enquanto seu corpo permanece na horizontal.



Mulher fazendo exercício de supino.

Durante o movimento do supino, você está realizando trabalho? Sim. Agora, você fará a isometria.

Quando você desce os halteres, você os mantém em repouso por certo tempo, próximos ao seu peito. Você está realizando trabalho? Apesar de todo o esforço do seu músculo em manter o halter parado, você não está realizando trabalho, pois não há o fator deslocamento.

Quando não há deslocamento, mesmo havendo força, não há trabalho. Quando há deslocamento, mas não há força, também não há trabalho. Porém, existe o caso em que há deslocamento, há força e não há trabalho. Você vai entender o motivo, fique tranquilo!

Note que o trabalho é o produto escalar do vetor força com o vetor deslocamento. Assim, se esses dois vetores forem **perpendiculares** entre si, não há realização de trabalho, pois esse produto será nulo.

Um exemplo disso é um **movimento circular uniforme**. Você tem força atribuída ao movimento (força centrípeta que faz a velocidade mudar de direção continuamente) e você tem deslocamento (a circunferência formada pela trajetória).

No movimento circular uniforme, o trabalho é nulo, uma vez que a força em qualquer instante é perpendicular ao movimento, ou seja, você não está aumentando ou diminuindo a distância do objeto em relação ao centro.

Ao mudarmos a velocidade de algum objeto, há trabalho envolvido. Por exemplo, ao chutar uma bola em uma partida de futebol, você está aplicando uma força na bola (mesmo que durante um tempo muito pequeno), fazendo com que ela ganhe velocidade. Ou quando freia seu carro evitando uma batida, está perdendo velocidade, ou seja, há trabalho envolvido.

Forças de atrito, como já vimos, realizam trabalhos sempre negativos, ou seja, contrários ao deslocamento (em situações em que há deslocamento).

Observe dois tipos de trabalho em que haverá variação de energia!

- Trabalho para tirar um objeto de um lugar e colocar em outro.
- Trabalho para variar a velocidade de um objeto.



Para fixar, confira!

$$W \neq 0$$

Há força (seja integral ou alguma componente dela) na direção do deslocamento.

$$W = 0$$

Não há força e/ou não há deslocamento ou há força, porém somente perpendicular ao deslocamento.



Para uma força variável com a distância, o trabalho não é simplesmente a multiplicação entre força e deslocamento. Você pode fazer uma analogia aos conceitos de velocidade, tempo e deslocamento.

Deslocamento só é dado por velocidade *versus* tempo quando a velocidade é constante no tempo, ou então, quando estamos interessados na velocidade média. Se a velocidade varia com o tempo, não podemos simplesmente multiplicar os dois fatores.

Comentário

Uma forma de encontrar o deslocamento é encontrar a área entre a curva e o eixo temporal. Da mesma forma, para encontrarmos o trabalho realizado por uma força variável com a distância, basta calcularmos a área entre a curva e o eixo de deslocamento, ou seja, $F \Delta S$.

Geralmente, em projetos de engenharia, não definimos trabalho como requisito, mas, sim, potência de determinado dispositivo.

Potência

Potência é definida como a razão entre trabalho e intervalo de tempo de realização desse trabalho.

$$P = \frac{W}{\Delta t}$$

Sua unidade é dada em **watts** [$W=J/s$] apesar de outras unidades serem bastante conhecidas, como hp (horse-power) e cv (cavalo-vapor). Enquanto $1hp = 746W$, $1cv = 735W$.

Note que o conceito de trabalho não indica quanto tempo é necessário para realizar tal evento.

Por exemplo, se suspendemos um saco de cimento por dois andares usando uma corda presa em uma polia, o trabalho realizado pela força peso (contrário ao movimento) será o mesmo, independentemente de o carregamento ser feito em 1 minuto ou em 1 hora.

Atenção!

O trabalho da força de tração não será o mesmo, pois, além do esforço necessário para mudar de posição, há o esforço necessário para mudar a velocidade. Já o trabalho da força peso será o mesmo, dado pela multiplicação entre peso e deslocamento.

É importante, principalmente no campo da engenharia, medir o trabalho e quão rapidamente será realizado. Uma **máquina A** cuja potência é duas vezes maior que a **máquina B**, realiza duas vezes mais trabalho no

mesmo intervalo de tempo, ou então, realiza a mesma quantidade de trabalho na metade do tempo. Assim, percebemos o quão importante é a potência em engenharia.



O que torna um corpo capaz de realizar trabalho?

Resposta

Para que seja possível a realização de trabalho, o corpo precisa conter alguma coisa que transforme em trabalho. Por exemplo, para você empurrar uma caixa, você precisa ter força suficiente para tal. Mas o que você precisa fazer para ter força suficiente? Você precisa estar alimentado, porque, em nosso corpo, os alimentos nos fornecem nutrientes que geram alguma coisa com a qual conseguimos andar, pular, correr, pensar. Chamamos essa coisa de **energia**.

Tipos de energia e sua conservação

Em seu livro *Lectures on Physics*, Feynman nos diz que:

Agora, focaremos o estudo de energia mecânica, que pode ser dividida em dois tipos. Vejamos!

Energia cinética

Ligada à velocidade dos corpos.

Energia potencial

Ligada à posição dos corpos.

Energia cinética

É basicamente a energia do movimento. Todo corpo que possua velocidade diferente de zero terá energia cinética acumulada. Essa energia é proporcional à massa do corpo (m) e à sua velocidade ao quadrado (v^2):

$$E_{cin} = \frac{mV^2}{2}$$

Note que, se um corpo A possui velocidade V e massa m e um corpo B possui a mesma velocidade, porém massa $2m$, o corpo B terá duas vezes mais energia cinética que o corpo A .

Por outro lado, se dois corpos, A e B , de mesma massa, possuem $V_A = V$ e $V_B = 2V$, a energia cinética de B será 4 vezes maior que a de A .



Relação entre energia cinética e trabalho

Vimos que trabalho é dado pelo produto escalar entre vetor força e vetor deslocamento. Vamos supor que estamos querendo empurrar um objeto de massa m em um plano horizontal e liso, de forma que sua velocidade deixe de ser nula e passe para um valor v qualquer.

Temos que aplicar uma força a esse objeto, não é? Qual é a forma mais eficiente de aplicar essa força? Você concorda que será aplicando a força na direção do movimento desejado, ou seja, na horizontal?

O trabalho realizado será dado por $W = Fd$, sendo d a distância percorrida.

Vamos relembrar alguns conceitos anteriores. Acompanhe!

Se estamos aplicando uma força ao objeto, pela 2ª Lei de Newton, atribuímos a ele uma aceleração.

Se a força é constante, a aceleração é constante. Como a aceleração tem a mesma direção e sentido do deslocamento, trata-se de um movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV) acelerado ($a > 0$).

Utilizando a equação $F = ma$ (2ª Lei de Newton) e a equação horária de espaço de um MRUV, teremos o trabalho dado pela seguinte equação:

$$W = F\Delta S$$
$$W = (ma) \times \left(v_0 t + \frac{at^2}{2} \right)$$

Como partimos do repouso, $v_0 = 0$. Assim:

$$W = (ma) \times \frac{at^2}{2} \rightarrow W = \frac{m(at)^2}{2}$$

Como em um MRUV, a velocidade varia da seguinte forma com a aceleração:

$$V = V_0 + at, \text{ sendo } V_0 = 0$$

$$v = at$$

Chegamos à seguinte conclusão:

$$\left(W = \frac{\Delta mv^2}{2} \right)$$

Ou seja, no instante inicial, o corpo tinha $E_{\text{cin}} = 0$ (velocidade zero, pois se encontrava em repouso). Em um intervalo de tempo t , o corpo passou a ter:

$$E_{\text{cin}} = \frac{mv^2}{2}$$

Isso foi possível por causa de um trabalho realizado. Com isso, chegamos ao teorema trabalho-energia, que nos diz: trabalho é igual à variação de energia cinética.

Atenção!

Se o corpo já estiver em movimento e um trabalho for realizado a fim de modificar a velocidade desse movimento, o valor desse trabalho será dado pela variação entre a energia anterior e a energia posterior. Perceba que, se houver aumento de velocidade, o trabalho será positivo. Se houver diminuição de velocidade, o trabalho será negativo.



Energia potencial

Voltando aos estudos de Isaac Newton no desenvolvimento da obra *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1687), pense nisto:



Algumas forças, ao realizarem trabalho de um ponto A até outro ponto B, necessitavam da mesma quantidade de trabalho, independentemente da sua trajetória entre A e B.

O que você consegue deduzir dessa afirmação?

Resposta

Como trabalho resulta no mesmo valor, independente da trajetória realizada, significa que há energias próprias da posição em que o corpo se encontra (trabalho significa variação de energia). Isto é, para dada posição de um corpo, haverá energia armazenada com potencial de realizar trabalho. A esse tipo de energia damos o nome de **energia potencial**.

Você já viu em alguns shopping centers um dispositivo de diversão em que prendem (normalmente) uma criança, esticam-na por um elástico e a soltam, fazendo com que ela suba até o 2º andar do shopping?



Criança brincando em jumper.

O que ocorre quando o funcionário da empresa do brinquedo puxa a criança para baixo, enquanto ele a segura? Aquela posição em que a criança se encontra possui uma energia potencial, determinada pela posição em que ela está. Se ele puxar mais ou puxar menos, para cada posição, haverá uma energia associada, fazendo com que a criança suba mais ou menos.

Toda energia associada a uma força que realiza trabalho igual, indo de um ponto A a um ponto B, independentemente da trajetória, é chamada de energia potencial (e a força associada é chamada de força conservativa). Dentre as energias potenciais, a mais conhecida é a energia potencial gravitacional.

Energia potencial gravitacional

Já conversamos aqui sobre elevar objetos e que essa ação só é possível após a realização de trabalho. Lembra do livro na estante? Como podemos calcular o trabalho necessário para levar o livro da primeira prateleira para a segunda prateleira, h metros mais alta?



Mulher colocando livro de volta em estante.

Antes de responder a essa pergunta, primeiro temos que entender contra quem estamos brigando, ou seja, que força temos que vencer para levar o livro até a estante mais alta: **gravidade, velocidade** ou **peso**?

Força peso! E é exatamente essa força que temos que vencer. Logo, para levar o objeto até outra altura, temos que, no mínimo, fornecer um trabalho que seja igual ao associado à diferença de energias entre os respectivos dois pontos.

Vamos considerar que o livro se encontra na 1ª prateleira a uma altura h_1 do solo. A 2ª prateleira encontra-se a uma altura h_2 do solo. Dessa forma, para que eu consiga levar o livro do solo até a 1ª prateleira, qual esforço mínimo preciso oferecer? Confira!

Terceira prateleira



Para levarmos um livro da prateleira 1 para a 2, temos que fornecer um trabalho no mínimo igual à diferença entre essas energias. E se o trabalho for maior? Parte do trabalho servirá para levar o livro até a 2, e o restante servirá para aumentar a velocidade do livro, ou seja, a energia cinética do livro. E se for menor? Aí, você não conseguirá levar o livro até a prateleira 2.

Segunda prateleira



O livro na prateleira 2, h_2 possui uma energia própria dessa posição, dada por mgh_2 .

Assim, podemos concluir que o livro na prateleira 1, h_1 possui uma energia própria dessa posição.

Perceba que trabalho não é energia, mas, sim, uma forma de transferência de energia.

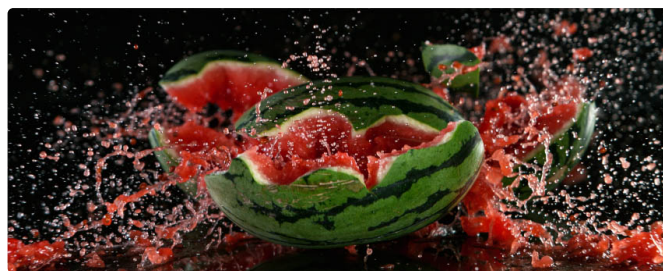
Note que energia potencial gravitacional dependerá de um ponto escolhido onde esta é nula. Sempre que tratarmos de energia potencial gravitacional estaremos interessados em dois pontos, a escolha do ponto de referência pode ser qualquer uma, desde que você seja coerente nos fatores mgh dos outros dois pontos – inclusive podendo ter valores negativos.

Comentário

A energia potencial elástica é um bom exemplo de energia potencial. Para cada posição de um corpo em uma mola (seja distendendo ou comprimindo), o corpo terá uma energia armazenada. Como a força elástica depende da posição, quanto mais longe da posição de equilíbrio, mais energia será armazenada.

Exemplos práticos de conservação de energia

Energia mecânica em um corpo pode ser do tipo cinética ou potencial. Existem outros tipos de energia que não abordaremos aqui. Em diversas situações, é comum observarmos a mudança de energia cinética em energia potencial e vice-versa. Veja dois exemplos!



Momento do impacto de uma melancia com o chão.

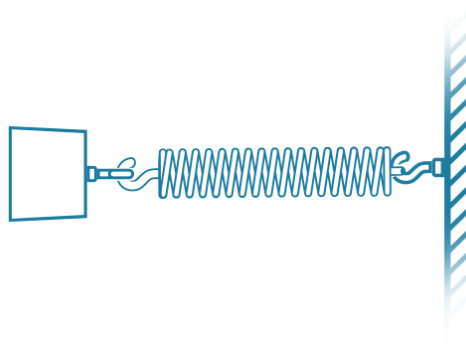
Se você deixar cair uma melancia do 5º andar de um prédio, a energia potencial gravitacional existente nessa posição (5º andar) durante a queda vai se transformando em energia cinética (aumento de velocidade), até que toda a energia potencial se transforma em cinética (ponto mais baixo da trajetória).



Momento do impacto de uma melancia com o chão.

Em uma montanha-russa, se ignorarmos o atrito (que existe e aquece os trilhos), ocorre uma constante troca de energia potencial gravitacional por energia cinética, e vice-versa. Quando o carrinho atinge o ponto mais alto e começa a descer, a energia potencial gravitacional se converte em energia cinética. À medida que sobe novamente, a energia cinética é transformada em energia potencial gravitacional. Muitos parques de diversões se baseiam nesse princípio de conservação de energia em seus brinquedos.

Para garantir que você entendeu como funciona essa transferência de energia, pense em uma mola no vácuo.



Mola presa em parede.

Agora coloque um corpo preso à mola e a outra extremidade dessa mola presa em uma parede. Ao comprimir o corpo contra a mola e largar em seguida, o que acontece? O corpo será empurrado para longe da parede.

Porém, como ele permanece preso à mola, chegará um ponto em que a mola estará tão distendida que trará o corpo de volta. Esse movimento, no vácuo, ou seja, sem atrito ou resistência do ar, permanecerá dessa maneira indefinidamente.

O movimento de comprimir o corpo contra a mola e largar em seguida nada mais é do que a transferência de energia potencial elástica em energia cinética e vice-versa.

Você consegue dizer em que ponto(s) haverá maior energia potencial e em que ponto(s) haverá maior energia cinética?

Em relação à conservação de energia mecânica, podemos afirmar que, quando forças conservativas realizam trabalho resistente, ou seja, quando retardam o movimento, há redução de energia cinética, sendo esta transformada em energia potencial.

Quando forças conservativas realizam trabalho motor, ou seja, quando aceleram o movimento, há aumento da energia cinética, sendo a energia potencial se transformando em energia cinética.

Assim, para um sistema contendo somente forças conservativas, podemos escrever que a soma das energias mecânicas na posição 1 será igual à soma das energias mecânicas na posição 2. Veja na fórmula!

$$E_{pot1} + E_{cin1} = E_{pot2} + E_{cin2}$$

E se houver forças não conservativas, como força de atrito, por exemplo? Nesse caso, sendo o trabalho realizado por essas forças, a energia total do sistema irá se conservar, da seguinte forma:

$$E_{pot1} + E_{cin1} + W_{n-conserv} = E_{pot} + E_{cin2}$$

Em que $W_{n-conserv}$ é trabalho realizado pelas forças não conservativas no trajeto entre a posição 1 e a posição 2.

Atenção!

Há diferença entre a energia mecânica e energia total. A primeira refere-se somente às energias cinética e potencial. Já a segunda, inclui todas as energias envolvidas no sistema, sendo as mecânicas e os trabalhos das forças não conservativas.

Não é sempre que a energia cinética se transforma em energia potencial. Às vezes, como na presença de força de atrito, a energia cinética pode diminuir e se transformar em outro tipo de energia, como calor ou energia acústica.

Um corpo com energia mecânica pode ter essa energia sob a forma de somente energia potencial, somente energia cinética ou, então, uma parte de potencial e uma parte de cinética. O que é importante saber é que, dada uma quantidade de energia em um corpo, essa energia poderá ser transformada em outra, mantendo o seu valor. Quando só temos forças conservativas atuando em um sistema, podemos dizer o seguinte, confira!

Trabalho forçado ou resistente

$$W < 0 \Rightarrow E_{cin} \rightarrow E_{pot}$$

Trabalho espontâneo

$$W > 0 \Rightarrow E_{\text{pot}} \rightarrow E_{\text{cin}}$$

Agora, vamos simular alguns cenários para reforçar sua compreensão sobre o estudos até aqui.

Situação-problema

Na atração conhecida como Globo da Morte, artistas circenses desafiam a lei da gravidade se movimentando dentro de uma esfera com suas motos. Para que o número seja bem sucedido (e não haja feridos e acidentes), uma das condições necessárias é que o artista consiga chegar no ponto mais alto da trajetória com uma velocidade igual a $v = \sqrt{gR}$, sendo g a aceleração da gravidade e R o raio do globo.

Para que isso seja possível, desprezando as forças de atrito, qual é a velocidade do motoqueiro na parte mais baixa do globo? Acompanhe a resolução!

Energia no ponto mais baixo do globo:

$$\frac{mv_0^2}{2}$$

$$\text{Energia no ponto mais alto do globo: } \frac{mv_f^2}{2} + mg(2R)$$

Pela conservação de energia:

$$v_0^2 = v_f^2 + 4gR \rightarrow v_0^2 = gR + 4gR \therefore v_0 = \sqrt{5gR}$$

Note que consideramos energia potencial nula no ponto mais baixo. Seria possível considerar a energia potencial gravitacional nula no ponto mais alto? Sim, poderia. Mas, nesse caso, a energia no ponto mais baixo do globo seria:

$$\frac{mv_0^2}{2} - mg2R.$$

No final das contas, daria no mesmo!

Agora imagine que, em um experimento, um carrinho seja deslocado através de uma corda presa em seu centro de massa, com diversas

inclinações diferentes (ângulos α diferentes, de 0° a 90° , de 15° em 15°), porém com módulo de força F igual. Sabendo que não havia atrito entre o carrinho e o solo e que o carrinho permanece se deslocando na horizontal, qual o máximo trabalho exercido por essa força?

Pense no seguinte:

$$W = \vec{F} \cdot \Delta \vec{S}$$

Somente a força ou componente de força que está na direção do deslocamento realiza trabalho. Assim, como a força é constante em módulo, só mudando sua direção. A maior força na direção do deslocamento ocorrerá quando esses dois vetores forem paralelos. Nessa situação é máximo o trabalho realizado pela força.



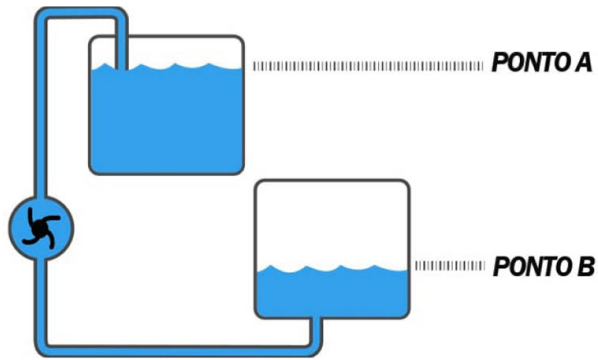
Atividade Discursiva

Uma bomba hidráulica precisa ser instalada a fim de retirar água de um reservatório e jogá-la em outro reservatório a uma altura de 10 metros em relação ao primeiro. Sabe-se que a vazão da água que entra e sai da bomba é de 50 litros/segundo e que a água sai do bocal no reservatório mais alto a uma velocidade de aproximadamente 4,0 m/s. Encontre a potência da bomba necessária para suprir esse sistema. Densidade da água: 1,0 kg/litro.

Digite sua resposta aqui

Chave de resposta ▾

Acompanhe a sequência de fórmulas para calcular a potência da bomba.



Esquema gráfico de sistema de bomba hidráulica.

Nesse caso, o ponto A encontra-se a uma distância de 10 metros em relação ao ponto B. Primeiramente, vamos encontrar qual é o trabalho que a bomba precisa fornecer para realizar essa tarefa, através da conservação da energia do sistema:

$$E_{potB} + E_{cinB} + W_{bomba} = E_{potA} + E_{cinA}$$

Atribuindo energia potencial gravitacional nula no ponto B, assim como a velocidade da água também nula nesse ponto, temos que:

$$\begin{aligned} E_{potB} + E_{cinB} + W_{bomba} &= E_{potA} + E_{cinA} \\ 0 + 0 + W_{bomba} &= mg(h_a - h_b) + \frac{mv_A^2}{2} \\ W_{bomba} &= m \times \left(10 \cdot 10 + \frac{16}{2} \right) \rightarrow W_{bomba} = 108m \end{aligned}$$



Dividindo pelo tempo e fazendo m= densidade (ρ) x volume:

$$\begin{aligned} P_{bomba} &= 108 \cdot \rho \frac{V}{t} \rightarrow P_{bomba} = 108 \cdot 1,0 \frac{kg}{L} \cdot 50 \frac{L}{s} \\ P_{bomba} &= 5400W \end{aligned}$$



Pequenos vídeos, grandes explicações!

Trabalho

Veja como realizar o cálculo do trabalho e suas possíveis nomenclaturas. Vamos lá!

Potência

Veja como determinar a potência e as relações de potência com o trabalho. Vamos calcular!

Falta pouco para atingir seus objetivos.

Vamos praticar alguns conceitos?

Questão 1

Em todas as situações abaixo, existem forças realizando Trabalho, exceto em:

- A Um carro sendo freado em uma estrada retilínea.
- B Um saco de areia sendo puxado por um sistema de polias.
- C Um atleta se alongando empurrando uma parede estática.
- D Um martelo batendo em um prego.
- E Uma goiaba caindo da árvore.

Parabéns! A alternativa C está correta.

Para que se tenha trabalho, deve haver força e deslocamento na direção da força ou de um componente dela.

Questão 2

Dois caminhões carregando frutas precisam ser parados, pois perderam o freio. Os dois estão com a mesma velocidade. Para tal, utiliza-se um dispositivo que aplica a mesma força de freamento nos dois caminhões. Sabe-se que um caminhão está completamente carregado de frutas e o outro tem poucas caixas. Pode-se afirmar que:

- A O caminhão mais carregado irá parar depois, pois sua Energia Cinética é maior.
- B O caminhão menos carregado irá parar depois, pois é mais leve.
- C Os dois caminhões irão parar juntos, pois a força aplicada é a mesma.

- D Os dois caminhões irão parar juntos, pois possuem a mesma velocidade.
- E Não é possível afirmar sem saber o valor da velocidade nem da força.

Parabéns! A alternativa A está correta.

Como o caminhão mais carregado tem mais massa, sua energia cinética será maior, e conseqüentemente, será necessário um Trabalho maior para pará-lo. Como a força é a mesma nos dois casos, o caminhão mais pesado irá se deslocar mais que o outro.

Questão 3

Na atração conhecida como Globo da Morte , artistas circenses desafiam a lei da gravidade se movimentando dentro de uma esfera com suas motos. Para que o número seja bem sucedido (e não haja feridos e acidentes), uma das condições necessárias é que o artista consiga chegar no ponto mais alto da trajetória com uma velocidade igual a $v = \sqrt{gR}$, sendo g a aceleração da gravidade e R o raio do globo. Para que isso seja possível, desprezando as forças de atrito, a velocidade do motoqueiro na parte mais baixa do globo dever ser igual a:

- A $v = \sqrt{gR}$
- B $v = \sqrt{2gR}$
- C $v = \sqrt{3gR}$
- D $v = \sqrt{4gR}$
- E $v = \sqrt{5gR}$

Parabéns! A alternativa E está correta.

Energia no ponto mais baixo do globo:

$$\frac{mv_0^2}{2}$$

Energia no ponto mais alto do globo:

$$\frac{mv_f^2}{2} + mg \left(\frac{2r}{\text{altura}} \right)$$

Pela conservação de energia:

$$v_0^2 = v_f^2 + 4gR \rightarrow v_0^2 = gR + 4gR \therefore v_0 = \sqrt{5gR}$$

Note que considerei Energia Potencial nula no ponto mais baixo. Eu poderia considerar a Energia Potencial Gravitacional nula no ponto mais alto? Sim, poderia. Mas, nesse caso, a energia no ponto mais baixo do globo seria:

$$\frac{mv_0^2}{2} - mg2R$$

No final das contas, daria no mesmo, concorda?

Questão 4

Em um experimento, um carrinho foi deslocado através de uma corda presa em seu centro de massa, com diversas inclinações diferentes (ângulos α diferentes, de 0° a 90° , de 15° em 15°), porém com módulo de força F igual. Sabendo que não havia atrito entre o carrinho e o solo e que o carrinho permanece se deslocando na horizontal, pode-se afirmar que o máximo trabalho exercido por essa força será quando:

A $\alpha = 0^\circ$

B $\alpha = 30^\circ$

C $\alpha = 45^\circ$

D $\alpha = 60^\circ$

E $\alpha = 90^\circ$

Parabéns! A alternativa A está correta.

Como $W = \vec{F} \cdot \Delta S$, somente a força ou componente de força que está na direção do deslocamento realiza Trabalho. Assim, como a

força F é constante em módulo, só mudando sua direção, a maior força na direção do deslocamento ocorrerá quando esses dois vetores forem paralelos.

Questão 5

Um disco de massa 500g desliza com velocidade 10m/s por um solo liso quando, em determinado momento, passa a deslizar em um solo rugoso. Sabe-se que ele desliza por mais 20 segundos até parar. O módulo da força de atrito entre o disco e o solo rugoso é dado por:

A 0,25N

B 0,50N

C 0,75N

D 1,0N

E 1,25N

Parabéns! A alternativa A está correta.

Pelo Teorema do Trabalho-Energia Cinética, podemos dizer que o trabalho da força de atrito é dado por:

$$W = E_{\text{cin-final}} - E_{\text{cin-inicial}}$$
$$W = \frac{mv_f^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} \rightarrow W = 0 - \frac{0,5 \cdot 10^2}{2} \therefore W = -25J$$

O que foi pedido foi a força de atrito na região rugosa. Assim, como essa força é constante e horizontal e o deslocamento também é horizontal:

$$F \cdot \Delta S = -25$$

Como se trata de um MRUV, podemos encontrar a aceleração do disco da seguinte forma:

$$v_f = v_0 + at \rightarrow 0 = 10 - a \cdot 20 \therefore a = -0.5m/s^2$$

Substituindo na equação horária do movimento:

$$F \cdot \left(v_0 t + \frac{at^2}{2} \right) = -25$$

$$F \cdot \left(10 \cdot 20 - \frac{0,5 \cdot 20^2}{2} \right) = -25 \therefore F = -0,25N$$

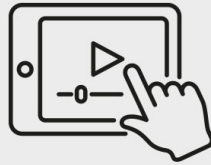
Obs.: Poderíamos resolver essa questão diretamente a partir da 2ª Lei de Newton. Como a única força na horizontal é a força de atrito, e a aceleração é de $-0,5\text{m/s}^2$, tem-se que:

$$F_r = F_{at} = ma$$

$$F_{at} = 0,5 \cdot (-0,5) \therefore F_{at} = -0,25N$$

Veja a resolução do professor.

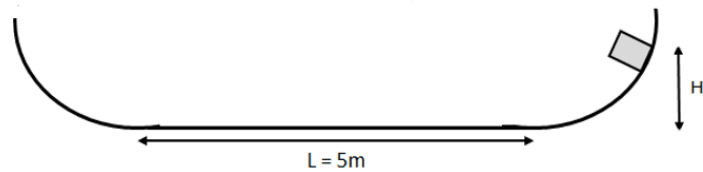
Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Questão 6

Um corpo em repouso é abandonado em uma pista conforme mostrado na figura abaixo. A parte de baixo da pista (horizontal) tem comprimento de 5m e é rugosa, enquanto a parte curva é lisa. Abandonando em repouso o mesmo corpo em um plano inclinado com 30° de inclinação em relação ao solo, a uma altura de 10m, o bloco chega ao solo com uma velocidade de 5m/s. Sabe-se que a superfície do plano inclinado fornece uma força de atrito exatamente igual à da parte de baixo da pista. Dessa forma, para que o bloco consiga retornar à parte curva da pista da qual foi abandonado, a altura H mínima de abandono deve ser aproximadamente igual a:

Considere $g = 10\text{m/s}^2$ e que a rampa é contínua em toda a sua extensão.



A 2,500m

B 4,375m

C 8,125m

D 10,22m

E 17,33m

Parabéns! A alternativa B está correta.

A informação fornecida acerca do plano inclinado serve para encontrarmos o valor da força de atrito. Essa força, conforme informado no enunciado, será a mesma da pista horizontal.

Primeiro passo: Conservação de energia no plano inclinado:

$$\begin{aligned}E_{\text{pot}} &= W_{\text{Fat}} + E_{\text{cin}} \\mgh &= F_{\text{at}} \cdot d + \frac{mv^2}{2} \\mgh &= F_{\text{at}} \cdot \frac{10}{\sin 30^\circ} + \frac{mv^2}{2} \\4 \times 10 \times 10 &= 20F_{\text{at}} + \frac{4 \times 25}{2} \therefore F_{\text{at}} = \frac{35}{2} N\end{aligned}$$

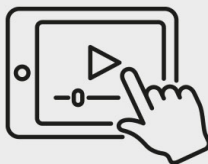
Segundo passo: Conservação de energia na pista.

Note que, para o bloco retornar à curva da direita, ele precisa ter energia suficiente para chegar à curva da esquerda e retornar. Como na parte das curvas há conservação de Energia Mecânica (Energia Potencial Gravitacional $\rightarrow$ Energia Cinética e Energia Cinética $\rightarrow$ Energia Potencial Gravitacional), basta considerarmos a perda de energia para o trabalho do atrito. Assim:

$$\begin{aligned}mgH &> F_{\text{at}} \cdot d \rightarrow mgH > F_{\text{at}} \cdot 2L \\H &> \frac{\frac{35}{2} \cdot 2.5}{4 \times 10} \therefore H > 4,375m\end{aligned}$$

Veja a resolução do professor.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Considerações finais

Começamos o estudo de mecânica discutindo os conceitos básicos de cinemática, tais como referencial, deslocamento, velocidade e aceleração. Essa discussão foi necessária para tratarmos de dois movimentos retilíneos: movimento retilíneo uniforme (MRU) – aceleração nula – e movimento retilíneo uniformemente variado (aceleração não nula).

Continuando o estudo da mecânica, foram identificadas e discutidas as três leis de Newton. Essas leis são a base para todo o estudo da dinâmica e nos fornecem o entendimento do porquê os movimentos acontecem e de que maneira.

Por fim, foram tratados os conceitos de energia e trabalho. Apesar de o conceito de energia ser abstrato, o mais importante é entender os tipos de energia existentes e como ocorre a transformação de um tipo em outro. Esse entendimento é muito importante na prática das engenharias, visto que máquinas e dispositivos, em geral, são objetos que juntam energias de várias formas e transformam em outra.



Podcast

Ouçá agora um resumo sobre duas subáreas da física mecânica: a cinemática e a dinâmica.

Para ouvir o *áudio*, acesse a versão online deste conteúdo.



Explore +

Para saber mais sobre os assuntos abordados neste conteúdo, assista:

Aprender Fazendo: Determinação da Aceleração da Gravidade. Trata-se de um experimento para medir a aceleração da gravidade. Não deixe de conferir!

Motorcycle jumps. Nesse vídeo, é possível ver lançamentos oblíquos feitos com motocicletas. Repare bem na trajetória da moto!

Referências

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. **The feynman lectures on physics.** American Journal of Physics, v. 33, n. 9, 1965. p. 750-752.

FOLEY, M. P. **Confessions.** Hackett Publishing Company Incorporated, 2006.

MACÊDO, M. A. R. **A equação de Torricelli e o estudo do movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV).** Revista Brasileira de Ensino de Física v. 32, n. 4, 2010.

NEWTON, I. **The Principia:** Mathematical Principles of Natural Philosophy. Nova tradução de COHEN, I. B.; WHITMAN, A. Berkeley: University of California Press, 1999.

ROONEY, A. **A História da Física: da filosofia ao enigma da matéria negra.** 1. ed., 2013.

ROSA, C. A. de P. **História da Ciência – Vol.I – Da Antiguidade ao Renascimento Científico.** 1. ed., 2010.

WALKER, J. **O circo voador da Física.** 2. ed. LTC, 2015.

Material para download

Clique no botão abaixo para fazer o download do conteúdo completo em formato PDF.

Download material

O que você achou do conteúdo?



Relatar problema

